

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Модернизация конструкции малогабаритного 3D-принтера</b>

УДК 004.356.2-022.52-023.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM91	Хань Цзэли		05.06.21

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бознак Алексей Олегович	к.т.н.		05.06.21

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н.,		05.06.21

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна			05.06.21

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП по разделу «Раздел ВКР на иностранном языке»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Айкина Татьяна Юрьевна	к.ф.н.		05.06.21

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мартюшев Никита Владимирович	к.т.н.,		

## Результаты обучения

Направление 15.04.01 Машиностроение

ООП: Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла, получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения в том числе в режиме удаленного доступа
УК(У)-3	Способность организовать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способность применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия (-ий), анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-5	Способность на научной основе организовывать свой труд, самостоятельно оценивать результаты своей деятельности, владеть навыками самостоятельной работы в сфере проведения научных исследований, создавать и редактировать тексты профессионального назначения
УК(У)-6	Способность определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки, а также использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способность использовать иностранный язык в профессиональной сфере
ОПК(У)-4	Способность осуществлять экспертизу технической документации
ОПК(У)-5	Способность организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий, и их элементов, по разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов
ОПК(У)-6	Способность к работе в многонациональных коллективах, в том числе при работе над междисциплинарными и инновационными
ОПК(У)-7	Способность обеспечивать защиту и оценку стоимости объектов интеллектуальной деятельности

ОПК(У)-8	Способность проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-9	Способность обеспечивать управление программами освоения новой продукции и технологий, проводить оценку производственных и непроизводственных затрат на обеспечение требуемого качества продукции, анализировать результаты деятельности производственных подразделений
ОПК(У)-10	Способность организовывать работу по повышению научно-технических знаний работников
ОПК(У)-11	Способность подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
ОПК(У)-12	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
ОПК(У)-13	Способность разрабатывать методические и нормативные документы, предложения и проводить мероприятия по реализации разработанных проектов и программ в области машиностроения
ОПК(У)-14	Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способность разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, приводов, оборудования, систем и нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ПК(У)-2	Способность разрабатывать нормы выработки и технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии в машиностроении
ПК(У)-3	Способность оценивать технико-экономическую эффективность проектирования, исследования, изготовления машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, принимать участие в создании системы менеджмента качества на предприятии
ПК(У)-4	Способность подготавливать заявки на изобретения и промышленные образцы, организовывать работы по осуществлению авторского надзора при изготовлении, монтаже, наладке, испытаниях и с даче в эксплуатацию выпускаемых изделий и объектов машиностроения
ПК(У)-5	Способность разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности на предприятии, оценивать инновационные и технологические риски при внедрении новых технологий, организовывать повышение квалификации и тренинг сотрудников подразделений в области инновационной деятельности и координировать работу персонала при комплексном решении инновационных проблем в машиностроении
ПК(У)-6	Способность разрабатывать мероприятия по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов машиностроительного производства
ПК(У)-7	Способность организовать развитие творческой инициативы, рационализации, изобретательства, внедрение достижений отечественной и зарубежной науки, техники, использование передового опыта, обеспечивающих эффективную работу подразделения, предприятия

ПК(У)-8	Способность организовать и проводить научные исследования, связанные с разработкой проектов и программ, проводить работы по стандартизации технических средств, систем, процессов оборудования и материалов
ПК(У)-9	Способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых машин, приводов, систем, процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов с анализом их результатов
ПК(У)-10	Способность и готовность использовать современные психолого-педагогические теории и методы в профессиональной деятельности
ПК(У)-11	Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения в области профессиональной деятельности
ПК(У)-12	Способность составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений в области профессиональной деятельности
ПК(У)-13	Способность применять новые современные методы разработки технологических процессов изготовления изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности с определением рациональных технологических режимов работы специального оборудования в машиностроении

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная Школа новых производственных технологий  
Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»  
Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП 15.04.01

\_\_\_\_\_ Мартюшев Н.В..

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ91	Хань Цзэли

Тема работы:

Модернизация конструкции малогабаритного 3D-принтера		
Утверждена приказом директора ИШНПТ (дата, номер)	12.04.2021	№102-33/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2021
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<p>Цель работы – модернизация конструкции малогабаритного 3D-принтера, на основе кинематики «Ultimaker Original».</p> <p>Объектом исследования является 3D-принтер.</p> <p>Предметом исследования являются конструкция и технологические возможности 3D-принтера.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения</p>	<p>1) Изучение существующих на сегодняшний день технологий 3D-печати.</p> <p>2) Реинжиниринг имеющейся конструкции 3D-принтера на основе кинематики</p>

достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)	«Ultimaker Original». 3) Разработка конструкторской документации для модернизированного модуля перемещения. 4) Разработка конструкторской документации для модернизированного узла подачи. 5) Изготовление спроектированных деталей и их монтаж в конструкцию 3D-принтера. 6) Проверка технологических возможностей модернизированного 3D-принтера путем анализа точности размеров изготавливаемых на нем заготовок по кривым распределения.
<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)	Демонстрационный материал (презентация MS PowerPoint) - 20 слайдов
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Исследовательский	Бознак Алексей Олегович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна
Раздел ВКР на иностранном языке	Айкина Татьяна Юрьевна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b>	
<b>Modernization of the design of a small-sized 3D printer</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	09.09.2019
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Бознак А.О.	к.т.н.		09.09.2019

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4AM91	Хань Цзэли		09.09.2019

## **РЕФЕРАТ**

Выпускная квалификационная работа состоит из 5 глав, изложенных на 125 страницах печатного текста, и содержит 66 рисунков и 39 таблиц, 1 приложение. При написании было использовано 14 источников.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, 3D-принтер, модернизация, анализ точности по кривым распределения.

**Объект исследования:** 3D-принтер.

**Целью** работы является модернизация конструкции малогабаритного 3D-принтера, на основе кинематики «Ultimaker Original».

В процессе исследования проводилась разработка конструкторской документации для модернизированного модуля перемещения и узла подачи 3D-принтера; монтаж модернизированных узлов в 3D-принтер; анализ статистических погрешностей обработки 3D-принтера и коррекция прошивки для уменьшения указанных погрешностей.

В результате исследования было установлено, что после коррекции точность обработки трехмерного принтера повысилась в 1,2...3 раза. И результаты печати экспериментальных деталей показали, что качество их поверхности улучшалось. Таким образом, увеличилась и прочность деталей.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» произведен SWAT-анализ, составлен график Ганта, рассчитаны затраты на реализацию проекта.

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены вопросы экологичности и безопасности.

Область применения: машиностроение, производство заготовок для деталей из пластика.

В будущем планируется сравнить прочность напечатанных заготовок с аналогичными, но полученными обработкой резанием из алюминиевого сплава, и отыскать пути повышения этой прочности до уровня алюминиевого сплава или выше.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Оглавление .....	8
Введение .....	10
1 Технологии 3D печати .....	11
1.1 Технология SLA .....	12
1.2 Технология SLS .....	14
1.3 Технология LOM .....	16
1.4 Технология 3DP .....	18
1.5 Технология FDM .....	19
Заключение по разделу .....	22
2 Конструкторская часть .....	23
2.1 Моделирование 3D-принтера с помощью КОМПАС 3D .....	23
2.2 Модернизация 3D-принтера .....	27
2.2.1 Конструкторская документация для модернизированного модуля перемещения и узла подачи 3D-принтера .....	28
2.2.2 Написание управляющей программ для радиатора .....	36
2.2.3 Изготовление деталей .....	37
2.2.4 Сборка механической части 3D-принтера .....	39
2.3 Монтаж электронной платы .....	41
Заключение по разделу .....	43
3 Исследовательская часть .....	44
3.1 Печать экспериментальной детали .....	44
3.2 Анализ статистических погрешностей обработки 3D-принтером .....	49
3.2.1 Анализ точности для размера D8 .....	53
3.2.2 Анализ точности для размера по оси Z - 16 .....	55
3.2.3 Анализ точности для размера по оси Y - 30 .....	56
3.2.4 Анализ точности для размера по оси X - 40 .....	58
3.2.5 Анализ точности для углового размера - 30° .....	59
3.3 Коррекция 3D-принтера .....	60
3.4 Обработка результатов экспериментов .....	63
Заключение по разделу .....	67
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение....	69
Введение .....	69
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. ..	69
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений. ....	69



4.1.2 SWOT-анализ .....	71
4.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	74
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	74
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения.....	75
4.3 Бюджет научно-технического исследования.....	78
4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования.....	79
4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования .....	79
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	80
4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	82
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) ....	83
4.3.6 Накладные расходы.....	83
4.3.7 Бюджетная стоимость НИР .....	83
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	85
Выводы по разделу .....	88
5 Социальная ответственность .....	91
Введение .....	91
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	92
5.2 Производственная безопасность .....	93
5.2.1 Анализ вредных факторов производственной среды.....	93
5.2.2 Анализ показателей микроклимата .....	94
5.2.3 Анализ показателей шума .....	95
5.2.4 Анализ уровня вибраций .....	95
5.2.5 Анализ освещенности рабочей зоны.....	96
5.2.6 Анализ эмоциональных нагрузок .....	101
5.2.7 Анализ электробезопасности .....	101
5.2.8 Повышенная температура материала.....	102
5.3 Экологическая безопасность .....	102
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	103
Заключение по разделу социальной ответственности .....	106
Заключение.....	108
Список использованных источников и литературы.....	109
Приложение А.....	111

## **Введение**

В связь с быстрым развитием компьютерных технологий технология CAD/CAM получила широкое распространение, процессы производства и проектирования изделия претерпели огромные изменения, циклы разработки изделия и циклы обновления стали короче и короче, а технологии 3D-печати также развивается. Такая технология имеет широкий спектр применения и может использоваться в медицинской промышленности, научных исследованиях, моделях изделий, архитектурном проектировании, производстве продуктов питания и так далее.

С течением времени наш жизненный уровень повышается. В то же время население также быстро растет. Нам нужно все больше и больше предметов для удовлетворения материальных условий жизни. Это неизбежно приведет к повышению требований к нашим товарам, и большинство людей любят прекрасные изделия, уникальные и непроеизводственные товары. сегодня у нас есть передовые технологии 3D-печати, мы можем печатать все виды того, что мы хотим, через 3D-принтер. Но на рынке 3D-принтеров цены на высокоточные принтеры(например: 3D-принтер с технологией SLA и SLS) и соответствующие расходные материалы для большинства семей очень высоки, поэтому актуальность данного исследования заключается в том, что купить 3D-принтер с технологий FDM по относительно низкой цене и, изменив его структуру, сделать он соответствует точности печати.

## **1 ТЕХНОЛОГИИ 3D ПЕЧАТИ**

3D-печать также известна как аддитивное производство. Основанная на файлах цифровых моделей, технология использования склеиваемых материалов, таких как металлический порошок или пластик, для создания объектов с помощью послойной печати, особенно подходит для быстрого изготовления сложных структур, индивидуальной настройки и производства продукции с повышенной стоимостью. 3D-принтер, основанный на технологии 3D-печати, является технологическим достижением цифровой аддитивной технологии, которая после десятилетий разработки постепенно перешла на гражданский рынок. В настоящее время он используется в различных областях, включая медицину, строительство, пищевую промышленность и промышленное производство. и др. имеют широкие перспективы развития.

В последние годы развивался больше 30 различных аддитивных технологий, в котором наиболее успешно проработаны такие:

- SLA (Stereo Lithography Apparatus) – Лазерная стереолитография;
- SLS (Selective Laser Sintering) – Селективное лазерное спекание;
- LOM (Laminated Object Manufacturing) – Многослойное изготовление объектов;
- 3DP (3D Printing) - 3D-печать.;
- FDM (Fused Deposition Modelling) – Сплавляющее экструдерное осаждение.

## 1.1 Технология SLA

Лазерная стереолитография – самая известная технология 3D-печати. Это первая технология аддитивного производства, теоретически обоснованная и запатентованная в 1980-х годах. Принцип формирования заключается в том, что ближний ультрафиолетовый лазерный луч фокусируется на тонком слое жидкой фотополимерной смолы, и плоская часть требуемой модели прорисовывается быстро. Типичная технология SLA состоит из четырех основных частей: процессора построения сечений, управляющего процессора, камеры синтеза и лазерного блока. Процессор построения сечений преобразует данные файла модели на стандартный высокоуровневый язык STL (Stereolithography Text Language), используемое в большинстве 3D-принтеров, в данные совокупности послойных сечений с заданным шагом, помещаемые в SLI-файл (машинно-зависимый двумерный формат векторных данных управления лучом лазера). По данным этого файла управляющий процессор на протяжении всего процесса синтеза контролирует перемещения механических узлов 3D-принтера (элеватора, системы зеркал, тральщика и т. п.). Камера синтеза представляет собой резервуар, содержащий жидкий фотоотверждаемый полимер (рисунок 1.1.1). Внутри него по командам управляющего процессора опорная платформа (элеватор) перемещается в вертикальном направлении. В исходном состоянии зазор между рабочей поверхностью элеватора и поверхностью жидкого полимера равен толщине первого слоя синтезируемого объекта. В начале синтеза лазерный луч сканирует поверхность полимера в соответствии с текущими данными сечения модели. Фотополимерная жидкость превращается в твердую фазу под действием лазерного излучения, для чего не требуется много энергии. После того, как лазерный луч полностью отсканирует первый слой, элеватор опускается на один уровень, а затем процесс сканирования повторяется. После завершения синтеза заготовка модели вынимается из резервуара для хранения и обрабатывается сильным ультрафиолетовым излучением, чтобы гарантировать достижение заданной интенсивности. Для поддержки выступающих фрагментов модели в ходе

формирования последующих уровней используются опорные элементы, образуемые точечной лазерной засветкой фотополимера. После завершения синтеза объекта эти элементы удаляются [1].

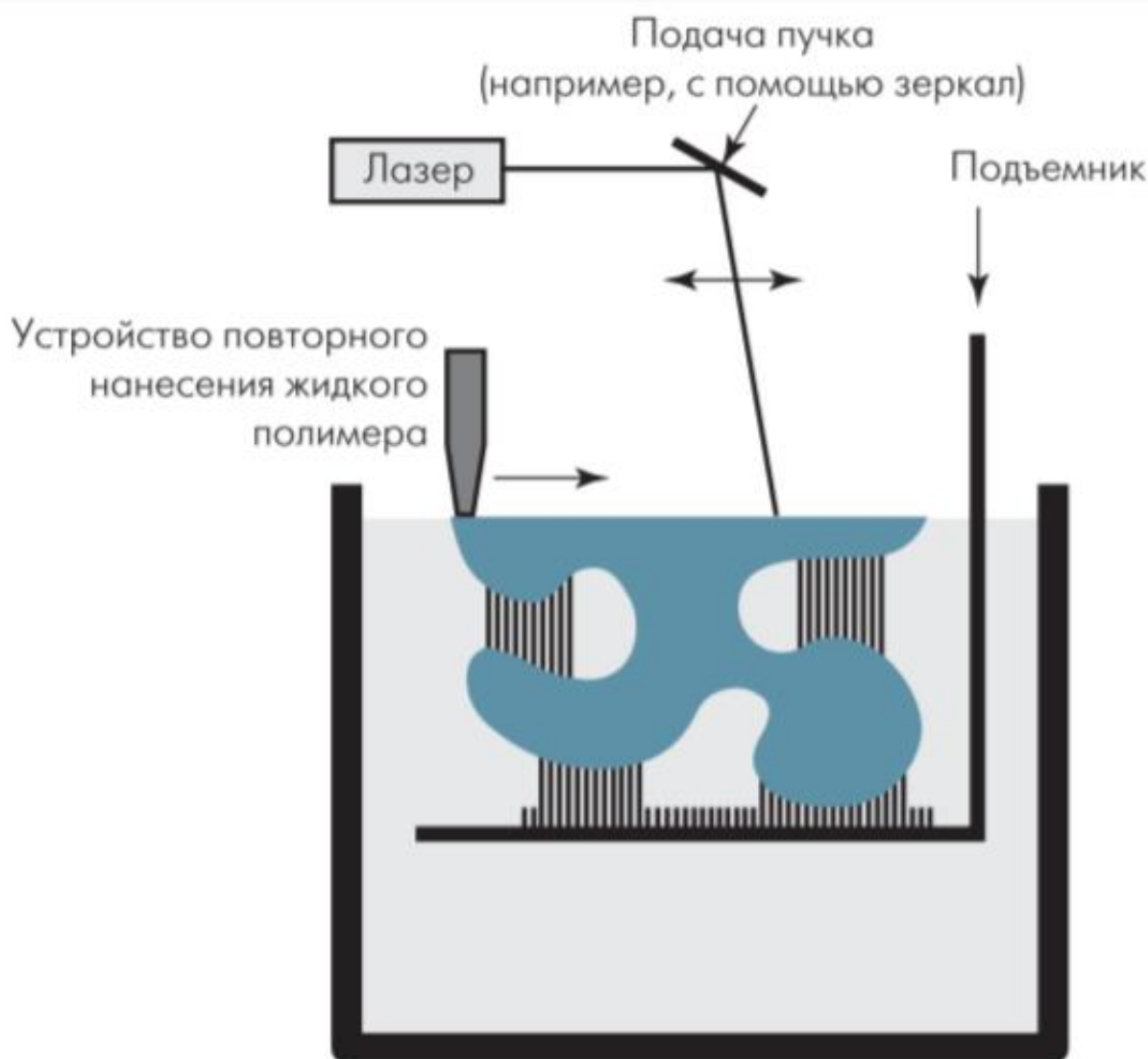


Рисунок 1.1.1 - Схема SLA-технология

**Расходный материал:**

Фотополимеризующейся композиции (ФПК).

**Плюсы данного метода:**

Прототипы изготавливаются непосредственно из цифровых моделей САПР с высокой скоростью обработки, коротким производственным циклом и отсутствием режущих инструментов и форм. Обработка сложных по конструкции прототипов и пресс-форм, которые сложно сформировать традиционными методами. По сравнению с FDM , SLA имеет высокую

точность формования и гладкую поверхность.

#### **Минусы данного метода:**

Цена принтеры дорогая, ассортимент материалов не отличается разнообразием, а скорость печати невысока. Также фотополимер характеризуется токсичностью.

### **1.2 Технология SLS**

Современная технология SLS основана на следующем принципе: под воздействием луча (обычно CO<sub>2</sub>-лазера), управляемого процессором, трехмерный объект формируется слой за слоем путем выборочного спекания металлического или неметаллического порошка. Неспекшийся порошок используется повторно для формирования последующих уровней изделия. Порошкообразное сырье чаще получается посредством воздействия на нитевидную заготовку из требуемого материала сверхмощным электромагнитным импульсом длительностью  $10^{-7}$ – $10^{-6}$  с, энергия которого в два–три раза превышает энергию связи атомов разрушаемого вещества (рисунок 1.2.1). В результате образуется мелкодисперсный порошок со средним размером частиц от 10 мкм до 20 нм и высокой поверхностной энергией (100 Дж/г для алюминиевой пудры с характерным размером частиц 20 нм). Кроме того, деформация кристаллической решетки, вызываемая "электровзрывном", образование химических связей молекул металла и нейтральных газов, появление вакансий и атомов внедрения приводят к возникновению "избыточной" энергии нано-частиц. Высокая энергонасыщенность нано-частиц обуславливает их высокую активность при спекании, а это, в свою очередь, позволяет существенно снизить температуру синтеза [1].

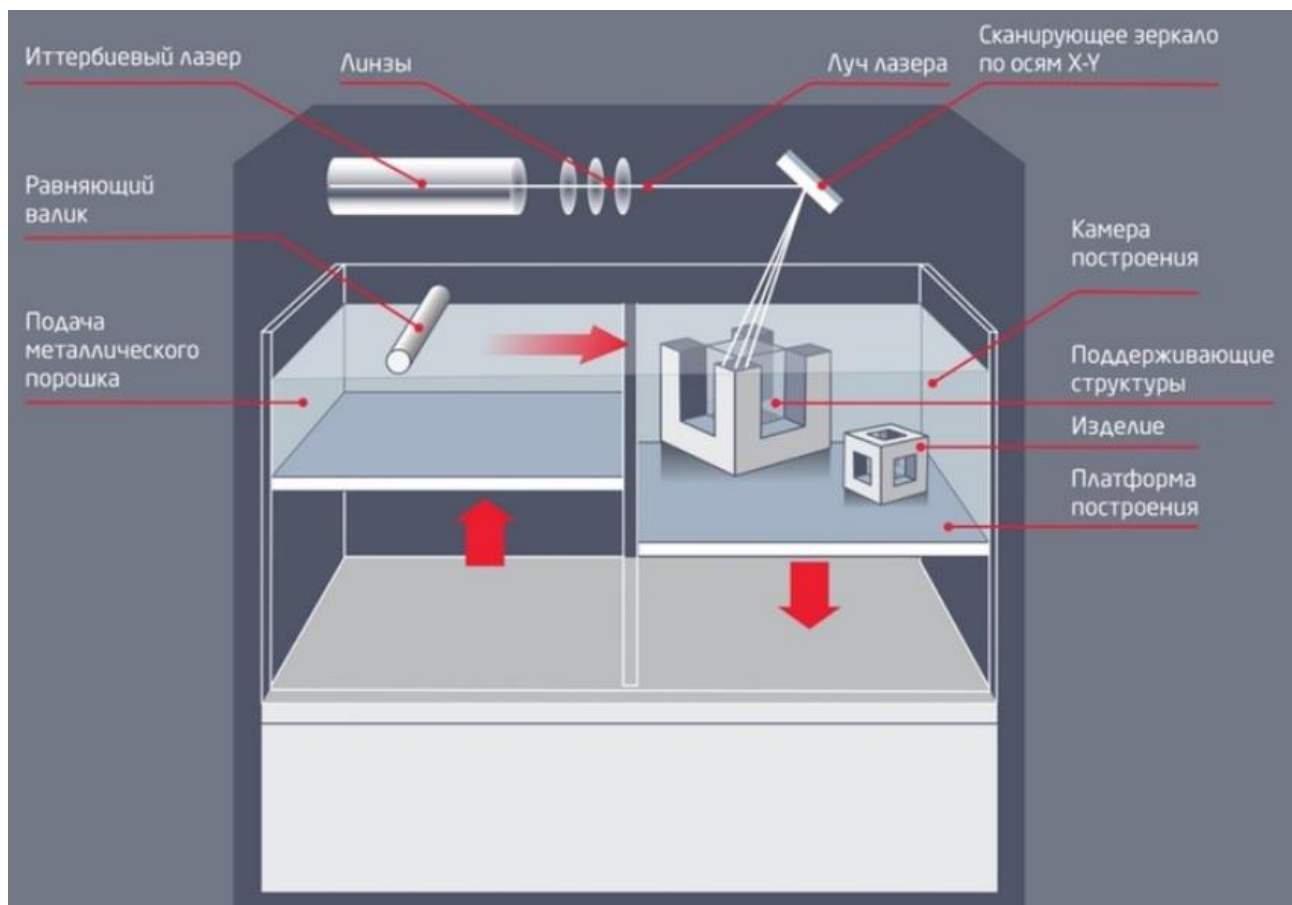


Рисунок 1.2.1 - Схема SLS-технологии

### **Расходный материал:**

Благодаря большому разнообразию материалов технология SLS имеет множество применений. Сюда входят одноконтентные порошки или порошковые смеси из различных материалов, таких как:

- Стекло;
- Керамика;
- Песчаные составы;
- Композитные материалы;
- Металлы и сплавы (сталь, титан, драгоценные металлы, сплавы кобальта и хрома);
- Полимеры (полистирол, полиамид, нейлон).

### **Преимущества метода:**

Разнообразие материалов, процесс печати прост в эксплуатации, коэффициент использования материала высокий, опорная конструкция не

требуется, а печатные детали отличаются высокой прочностью низким напряжением и малой деформацией.

**Недостатки метода:**

- Длительное время подготовки, необходимое для нагрева порошка и стабилизации температуры;
- Полученные модели имеют довольно шероховатую и пористую структуру;
- После изготовления каждой модели требуется чистка рабочей камеры от порошка.

### **1.3 Технология LOM**

LOM-технология является результатом развития слоистых методов формирования шаблонов. Она включает использование лазера для послойной резки сверхтонких листов в соответствии с заданной программой нарезки трехмерной модели (рисунок 1.3.1, *а*) или прецизионной фрезы (рисунок 1.3.1, *б*) и последующем склеивании их друг с другом. Разрешающая способность LOM-процедуры уже сейчас может достигать 50 мкм. С уменьшения толщины листа и улучшением механизмов точного прецизионного позиционирования отрезной машины это число может быть доведен до 10 мкм. Достижение такого разрешения с помощью других технологий быстрого прототипирования пока нельзя из-за трудностей формирования лазерного пучка, жидкостной или порошковой струи малого диаметра, а также жидкого либо порошкового слоя малой толщины [1].



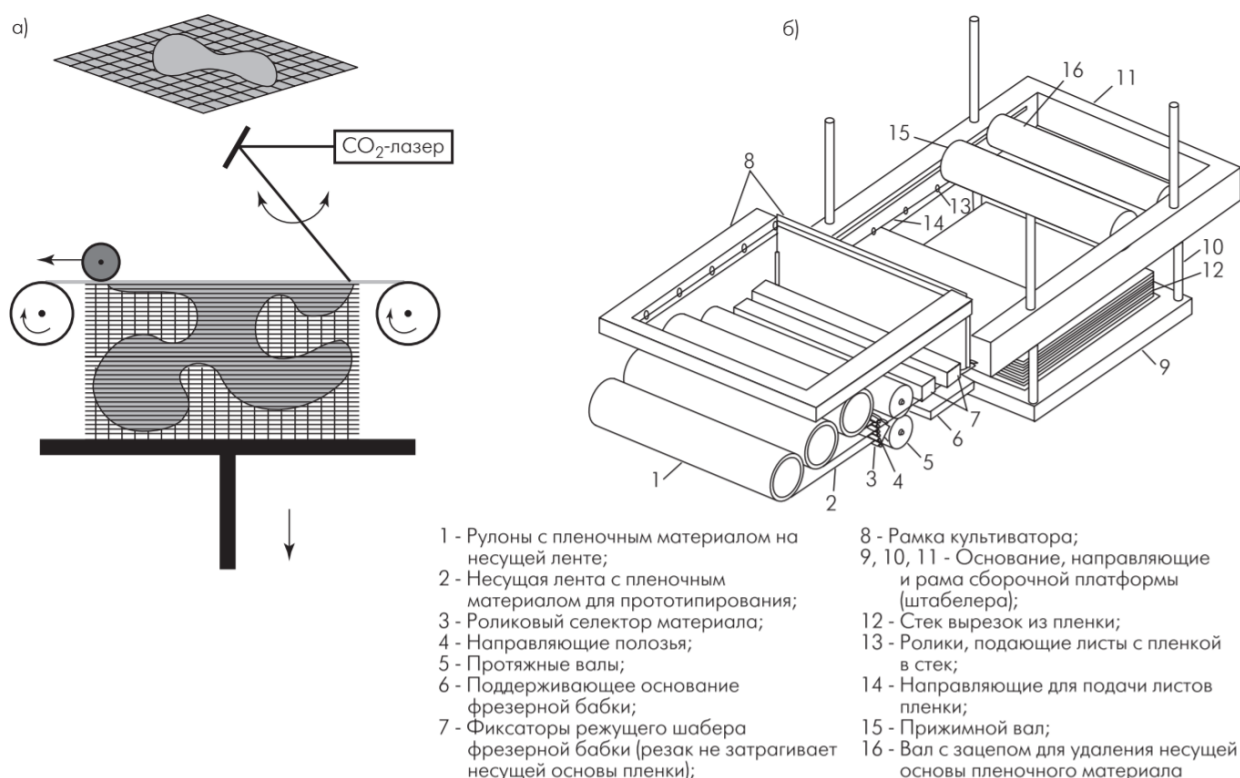


Рисунок 1.3.1 - LOM-технология: а) лазерная и б) фрезерная

### Расходные материалы:

Могут использоваться самые различные материалы, такие как:

- Пластик;
- Композиционный материал;
- Металлическая фольга или тонкие металлы;
- Обычная или ламинированная бумага;
- Полимерная пленка.

### Преимущества метода:

Он имеет возможность создавать крупномасштабные объекты, а также улучшать механические компоненты оборудования для других целей. Кроме того, при LOM-синтезе применяются разнообразные нетоксичные материалы (металл, пластмасса, керамика) более чем 60 цветов и оттенков. Когда вертикальным разрешением можно поступить в пользу увеличения скорости синтеза, допускается применение более толстых листовых заготовок [1]. Если не полностью прорезан лист, можно легко удалить испорченные слои и сделать их заново. Отсутствие поддержки при построении сложных моделей.

### **Недостатки метода:**

Продукты, недостаточно прочные по направлению слоя, возможность расслоения и ошибок при не полностью прорезанном листе. Поверхность продукта шероховатая, и удалить лишние материалы сложно из-за риска расслоения модели.

### **1.4 Технология 3DP**

Технология 3DP (метод трехмерной струйной печати) — это разновидность технологии трехмерной печати, которая появилась очень рано. Это первая в мире технология полноцветной 3D-печати. С точки зрения методов работы, 3DP заключается в изготовлении деталей путем склеивания порошка в единое целое. При подаче порошок подается на платформу для печати через горизонтальный прижимной валик, а цветной клей под давлением подается на платформу для печати. хранится в печатающей головке, и цветной клей смешивается в соответствии с цветом трехмерной модели и выборочно распыляется на плоскости порошка. Порошок склеивается в твердое тело, когда встречается с клеем. На рисунке 1.4.1 показана общая схема такого 3D-принтера. Перед началом печати 3D-модель нужного объекта должна быть «разрезана» САПР-программой на горизонтальные слои, форма которых передается на печать в специальном G-коде.

Принтер имеет две основные камеры: одна для хранения порошка (слева) и другого для построения модели, каждая из которых снабжена подвижной платформой. В начале процесса первое отделение заполнено материалом, а второе - пустое, чтобы начать печать тонкий слой порошка при помощи выравнивающего ролика перемещается из первой камеры во вторую. потом печатающая головка, имеющая множество сопел, наносит в нужных местах связующее вещество. После этого платформа рабочей камеры опускается на толщину слоя вниз, а пороховой отсек поднимается и все повторяется. После завершения процесса печати модель извлекается из камеры, тщательно продувается и очищается. Практичность изделий зависит от постобработки.

Возможны такие варианты: обжигание, спекание, выплавка.

### **Расходные материалы:**

Чаще всего оригинальные девайсы используют в качестве гипс. Кроме гипса, можно использовать различные виды пластика, смеси из песка и даже металлы. Важно, чтобы эти материалы были в формате порошка.

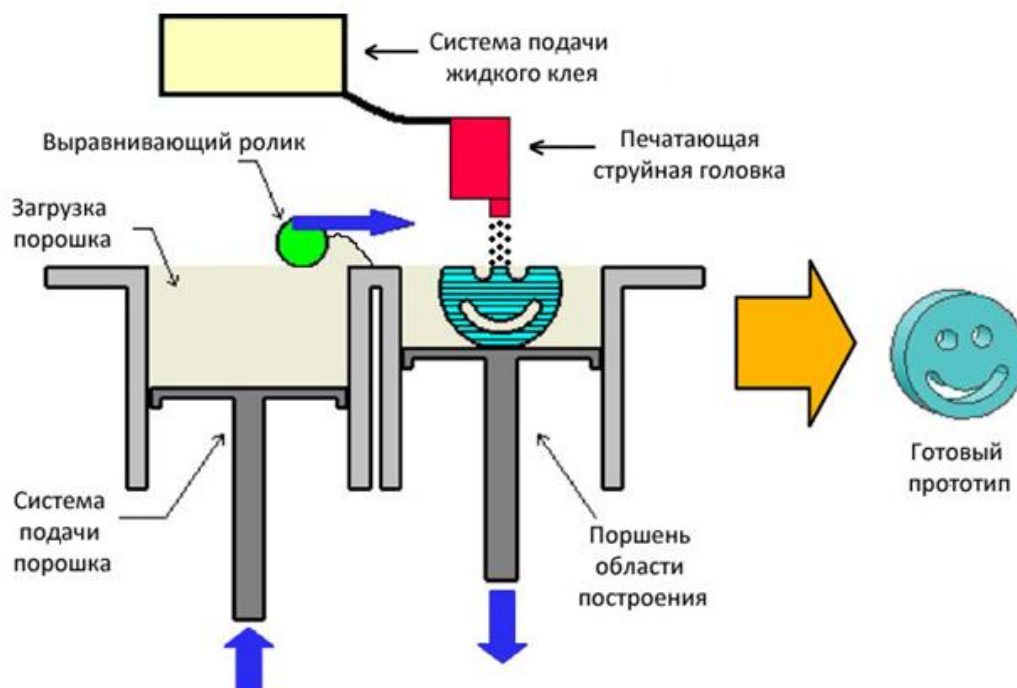


Рисунок 1.4.1 - Схема технологии 3DP

### **Преимущества метода:**

Отличная скорость работы (6 мм в высоту за час); невысокая цена расходников (гипс). Возможность печатать цветные объекты.

### **Недостатки метода:**

Модели из гипса достаточно хрупкие, а потому их не везде можно использовать; пресс-формы только одноразовые; во время работы с порошком из гипса появляется очень много пыли.

## **1.5 Технология FDM**

FDM-метод – это самая распространенная технология 3D-печати. С ее помощью выращивают изделия как дешевые домашние принтеры, так и промышленные системы высокоточной 3D-печати.

Эта технология предусматривает протягивание обжимными роликами через экструдер нити. Нить при этом нагревается, переходит в полужидкое состояние и наносится на матрицу формируемого трехмерного объекта в ходе построчного сканирования экструдером (рисунок 1.5.1). Компонувочное вещество, осаждаясь на матрице объекта, быстро затвердевает под действием температуры окружающей среды.

Процессор FDM системы управляет перемещением головки экструдера по трем осям и регулирует температуру нагрева подаваемого материала. Особенность FDM системы – прецизионный нагрев материала до температуры, лишь незначительно превышающей температуру его затвердевания. Во многих FDM устройствах используются несколько бобин с различными по цвету или составу нитями, причем сменой бобин также управляет процессор. Время смены не превышает 1 мин [2].

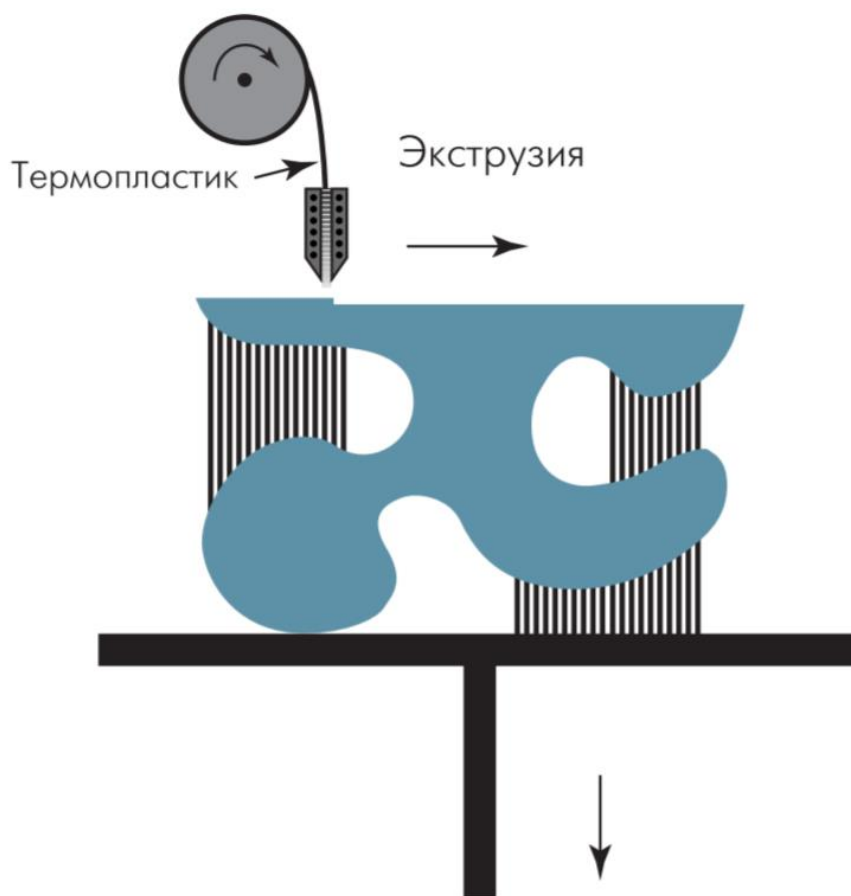


Рисунок 1.5.1 - Схема FDM-технологии

На рисунке 1.5.2 показана схема изготовления модели методом FDM с двумя бобинами.

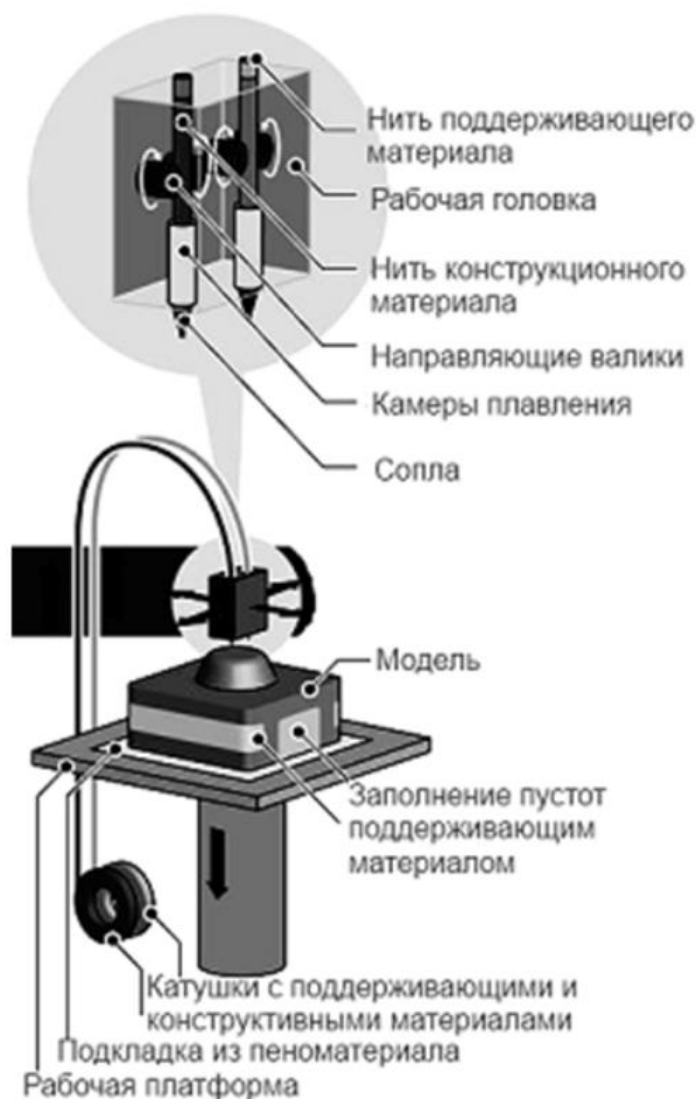


Рисунок 1.5.2 - Схема изготовления модели методом FDM с двумя бобинами

#### **Расходные материалы:**

- Полилактид (ПЛА, PLA) - биоразлагаемый, биосовместимый, термопластичный, алифатический полиэфир, мономером которого является молочная кислота;
- АБС-пластик (ABS) - акрилонитрил бутадиен стирол;
- Нейлон, поликарбонат, полиэтилен и многие другие термопластики.

#### **Плюсы данного метода:**

Возможность получать детали со сложной геометрией. Напечатанная деталь имеет прочность, как и те, которые производятся традиционными методами. Не требуется фильтрация токсичных газообразных продуктов. Есть возможность установить двойной экструдер для двухцветной печати или

использовать разные материалы одновременно.

#### **Минусы данного метода:**

Из-за нагрева пластики растекается за границы печатаемой области; только допускается материал можно расправить при невысокой температуре; высокая шероховатость поверхности.

#### **Заключение по разделу**

В этом разделе были рассмотрены разные типы технологии 3D печати, их достоинства и недостатки, а также расходные материалы для каждого типа принтера. Таким образом, была сформулирована следующая цель работы:

**Целью работы** является модернизация конструкции малогабаритного 3D-принтера, на основе кинематики «Ultimaker Original».

**Объектом исследования** является 3D-принтер, **предметом** – его конструкция и технологические возможности.

В соответствии с целью работы были сформулированы следующие **задачи**:

1. Изучить существующие на сегодняшний день технологии 3D-печати.
2. Произвести реинжиниринг имеющейся конструкции 3D-принтера на основе кинематики «Ultimaker Original».
3. Разработать конструкторскую документацию для модернизированного модуля перемещения.
4. Разработать конструкторскую документацию для модернизированного узла подачи.
5. Изготовить вновь спроектированные детали и произвести их монтаж в конструкцию 3D-принтера.
6. Проверить технологические возможности модернизированного 3D-принтера путем анализа точности размеров изготавливаемых на нем заготовок по кривым распределения.

## 2 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

Проанализировав имеющиеся конструкции, мы выбрали конструкцию «Ultimaker Original», технология которой является FDM технологии. Характеристики представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Характеристики «Ultimaker Original»

<b>Технические характеристики</b>	
Технология печати	Сплавляющее экструзионное осаждение
Количество печатающих головок	1
Область построения, мм	210x210x205
Скорость печати, мм/с	30-200
Платформа	Без подогрева
Интерфейс	USB, card reader
Дисплей	Да
<b>Расходные материалы</b>	
Тип материалов	Пластик
Материалы	ABS-пластик; PLA-пластик
Диаметр нити, мм	1,75
Софт/ПО	Cura - Official Ultimaker, Marlin
Габарит, мм	340x350x390
Вес, кг	9

### 2.1 Моделирование 3D-принтера с помощью КОМПАС-3D

Для моделирования принтера требуется выполнить следующие этапы:

1. Разобрать данный принтер;
2. Измерить все размеры изделия;

Инструмент измерения: цифровой штангенциркуль (рисунок 2.1.1)



Рисунок 2.1.1 - Цифровой штангенциркуль

3. Выполнить 3D модели всех деталей и сборочных единиц с помощью САПР;
4. Выполнить 3D сборку.

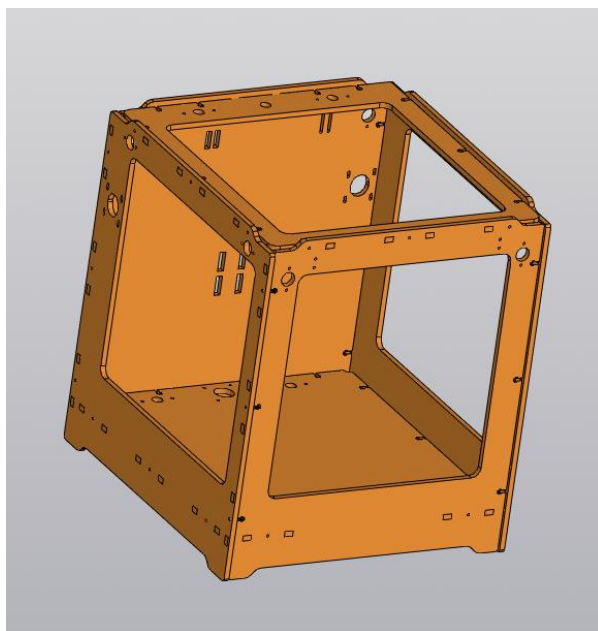


Рисунок 2.1.2 - Сборка Корпуса

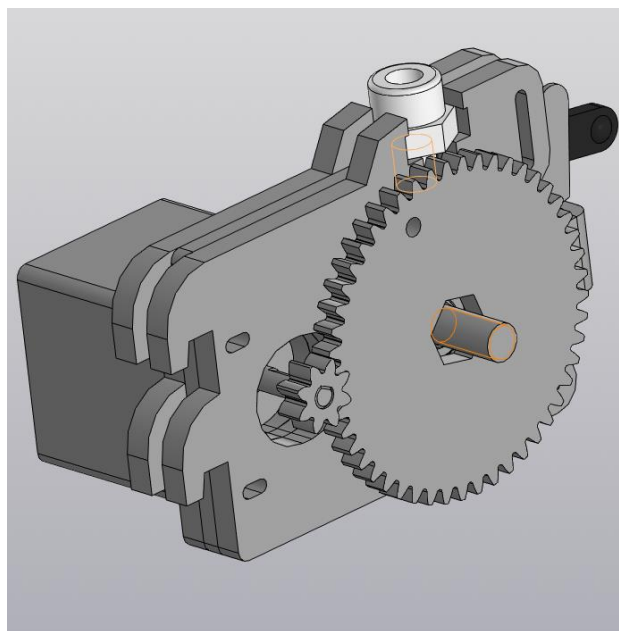


Рисунок 2.1.3 - Сборка узла подачи

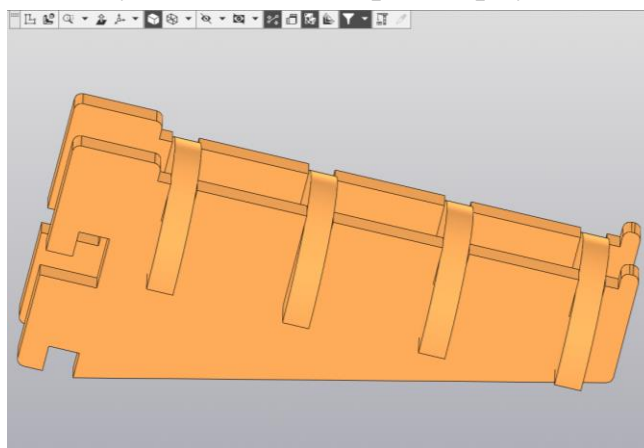


Рисунок 2.1.4 - Сборка опоры катушки

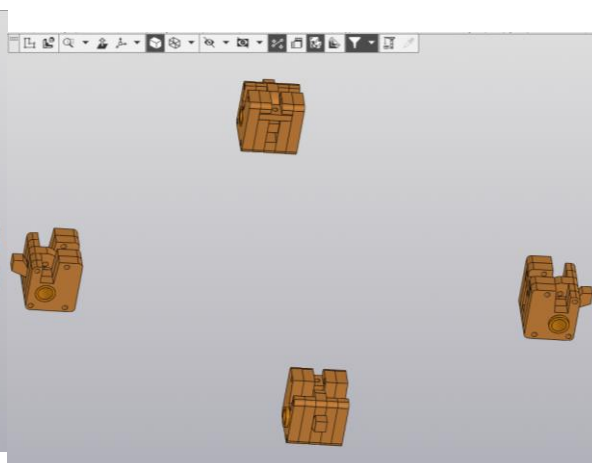


Рисунок 2.1.5 - Сборка ползуна



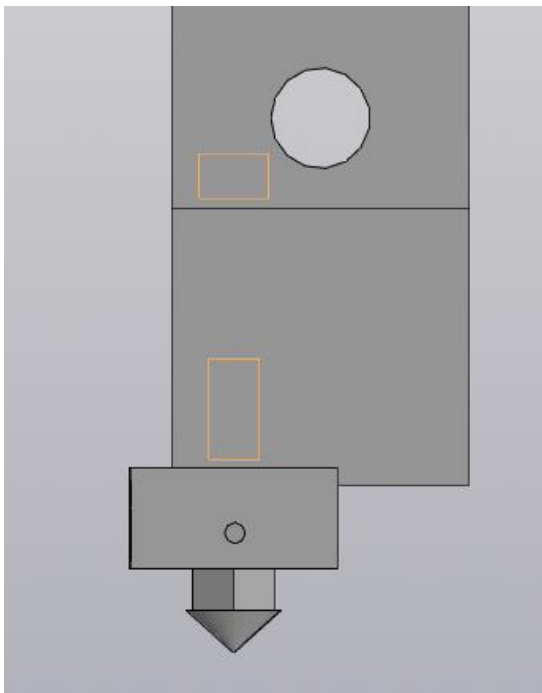


Рисунок 2.1.6 - Сборка головки  
экструдера

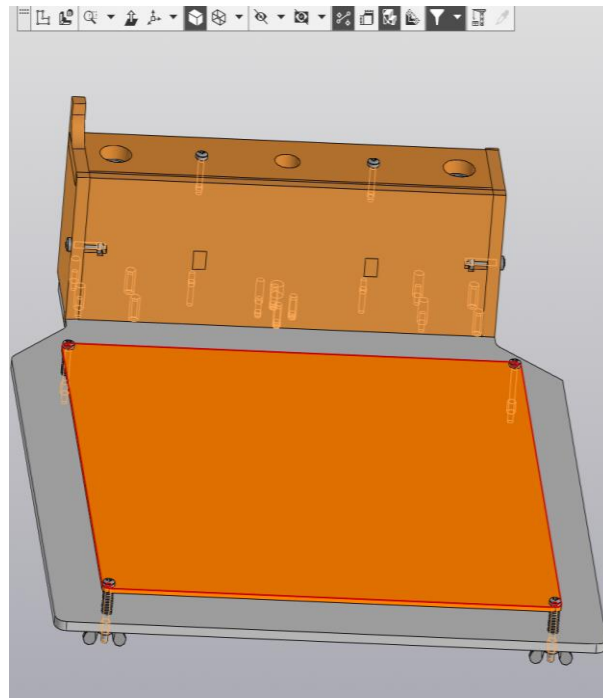


Рисунок 2.1.7 - Сборка плиты

Принцип работы 3D-принтера «Ultimaker Original» следующий. Катушка расходных материалов закреплена на опоре катушки 1, PLA нить движется с помощью узла подачи 2, который подключен к шаговому мотору 5, узел подачи соединяется с модулем перемещения 4 через пластиковую трубку 3, при нагреве нагревателя нить переходит в полужидкое состояние и наносится на плиту, где формируется трехмерный объект в ходе построчного сканирования экструдером. Компонировочное вещество, осаждаясь на плите, быстро затвердевает под действием температуры окружающей среды. Вал 6 и вал 7 установлены на ползушки 8, на которых закреплен ремень, соединенный со шкивами 12. Экструдер перемещается при подключении соответствующих двигателей 16 и 13, крутящий момент передается через ремень 10 на шкив, который фиксирован на горизонтальных направляющих валах 9, ползушки двигаются по определенным расстоянием, с ними перемещается экструдер. Плита 14, на которой формировать изделия, перемещается вертикально по оси Z винтовой передачей. Нагрузка передается из двигателя 15 на ходовой винт 11, с помощью вертикальных направляющих валов 17 плита двигается более плавна.

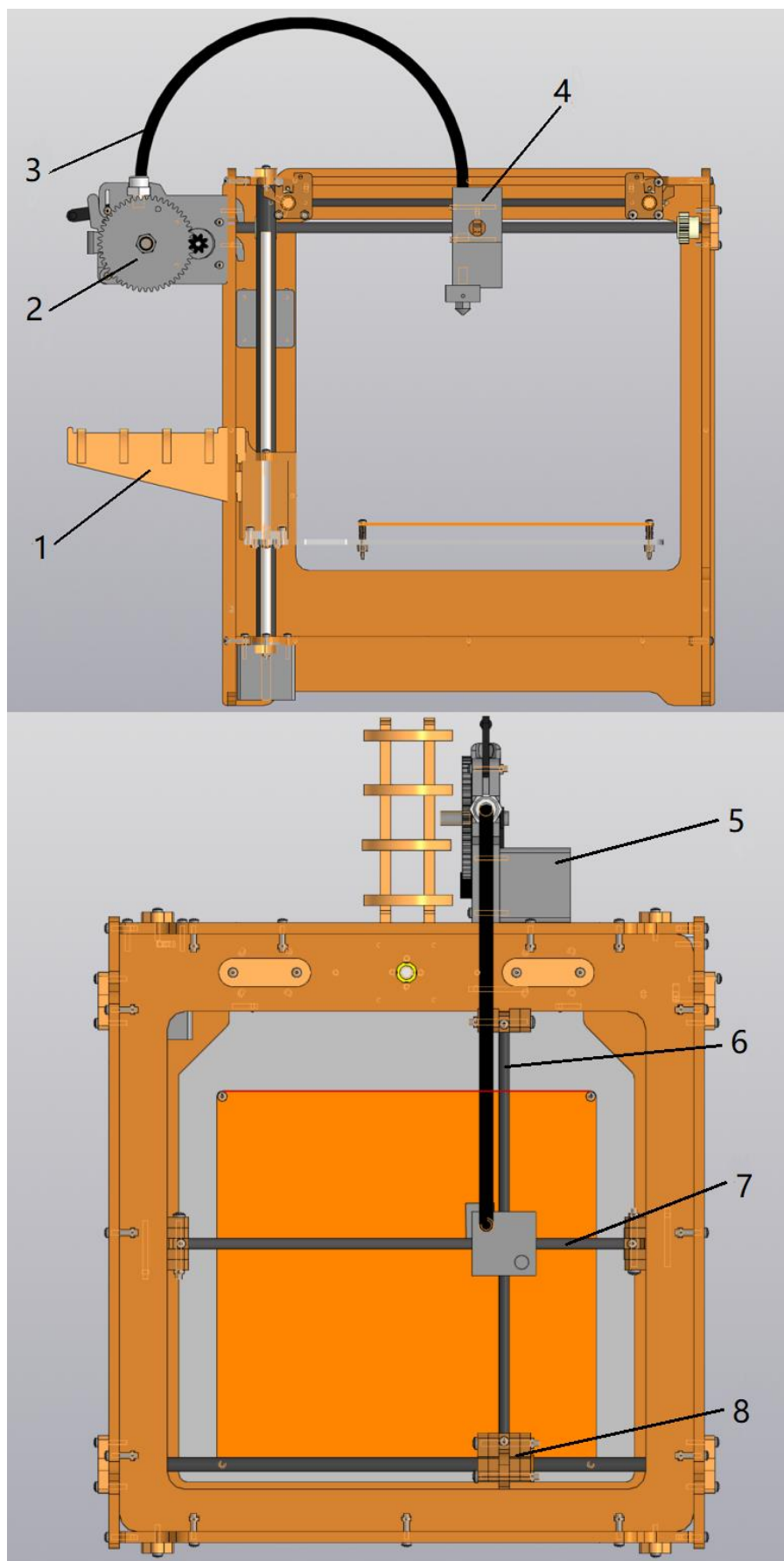


Рисунок 2.1.8 - Структура 3D-принтера (1 - опора катушки; 2 - узел подачи; 3 - пластиковая труба; 4 - модуль перемещения; 5 - шаговый мотор; 6 – вал X; 7 – вал Y; 8 – ползушка; 9 – горизонтальный направляющий вал.)

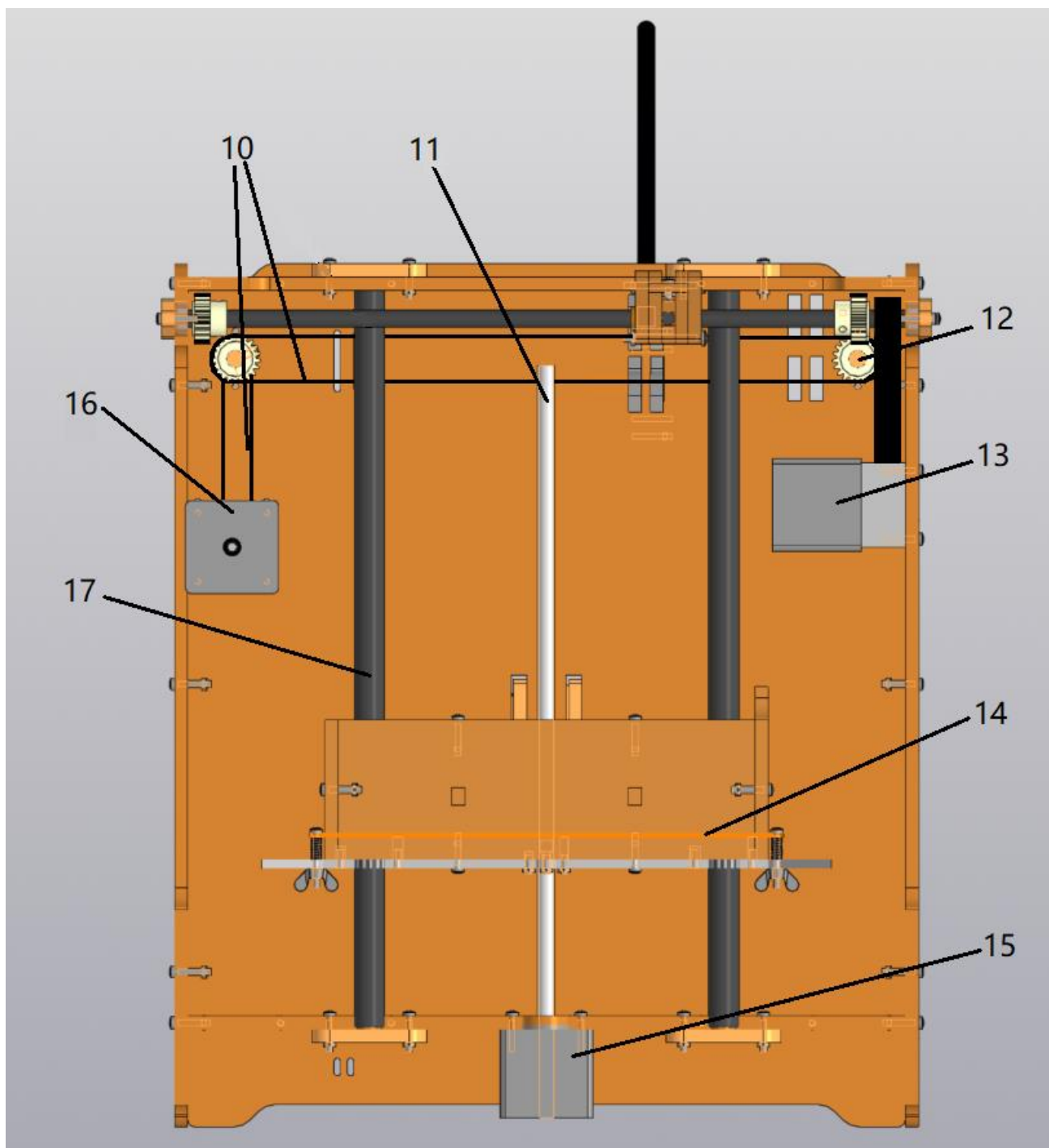


Рисунок 2.1.9 - Структура 3D-принтера  
 (10 - ремень; 11 – ходовой винт; 12 - шкив; 13 ,15, 16 - шаговой мотор; 14 –  
 плита; 17 – вертикальный направляющий вал.)

## 2.2 Модернизация 3D-принтера

В данном 3D-принтере использовался материал мобильного модули и узла подачи из акрила, что значительно снижало точность печати во время процесса перемещения и подачи материала, причем возникал сильный износ

детали в дальнейшем процессе использования. Поэтому решили изготовить узел подачи из дюралюминиевого сплава. Известно, что если экструдер плохо отводит тепло, то термопластик будет плавиться во внутреннем отверстии радиатора, что приведет к плохой экструзии и даже к блокированию выпускного отверстия, таким образом, чтобы получить горячий расплав материала только в сопле, конструировали новый модуль перемещения, разработали радиатор с улучшенным отводом тепла для дальнейшего улучшения отвода тепла. И поставили линейные подшипники на модуль перемещения и место, где вертикальные валы контактируются с плитой, чтобы уменьшить сопротивление во время движения и повысить точность принтера в процессе обработки.

Проблемами у данного принтера являются непрочный узел подачи и перемещенный модуль и плохо отвода тепло от горловины. Чтобы решить эти проблемы, должен выполнить следующие задачи:

1. Разработка конструкторской документации для модернизированного модуля перемещения и узла подачи 3D-принтера;
2. Разработка управляющих программ для станков с числовым программным управлением;
3. Изготовление деталей (изготавливаемые детали: корпус; радиатор; кронштейн; направляющая втулка);
4. Сборка модернизированного модуля перемещения 3D-принтера.

### **2.2.1 Конструкторская документация для модернизированного модуля перемещения и узла подачи 3D-принтера**

Чертежи были выполнены с помощью КОМПАС-3D. Данные чертежи представлены ниже на рисунках 2.2.1.1 - 2.2.1.7:

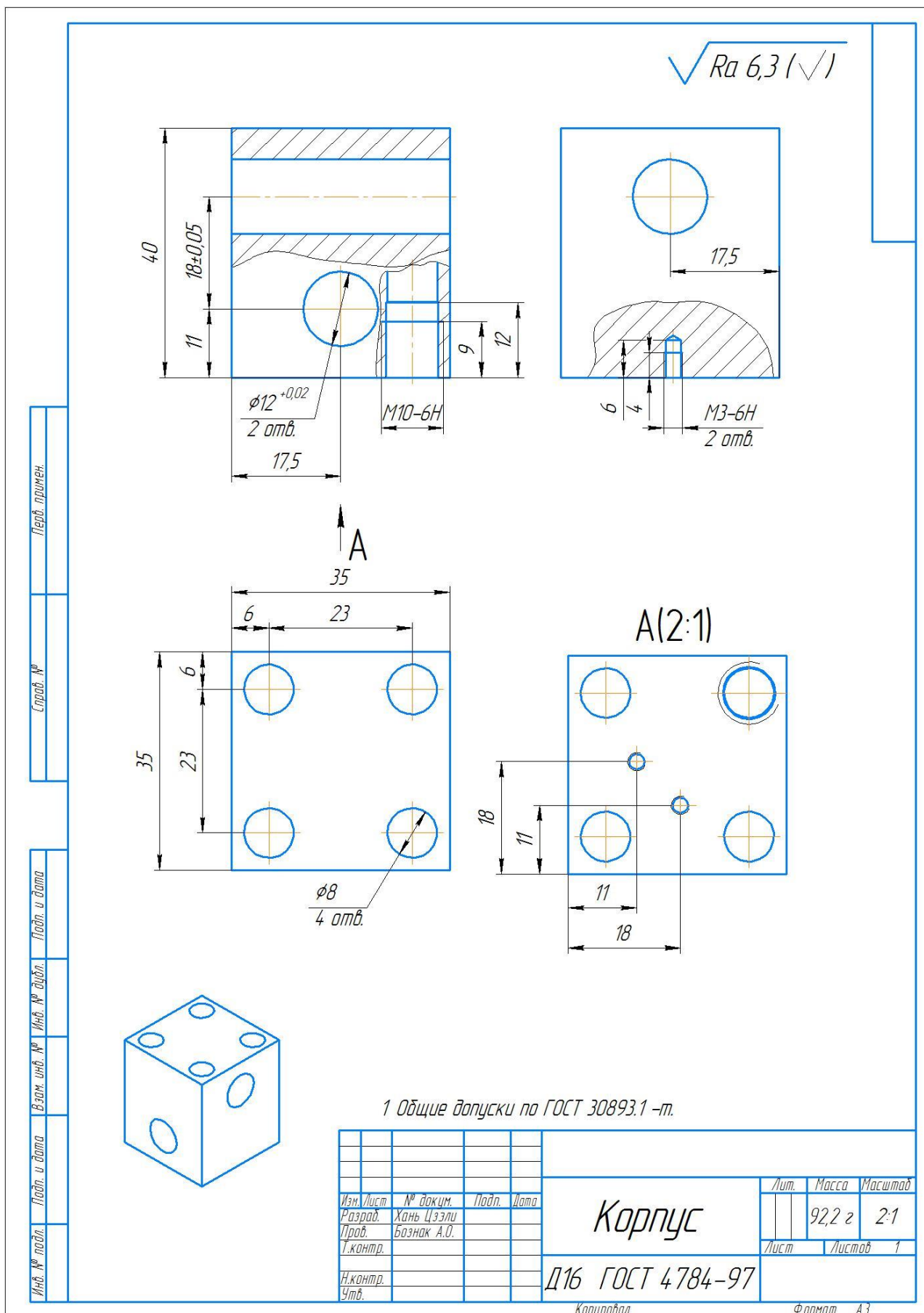


Рисунок 2.2.1.1 - Чертеж детали «Корпус»

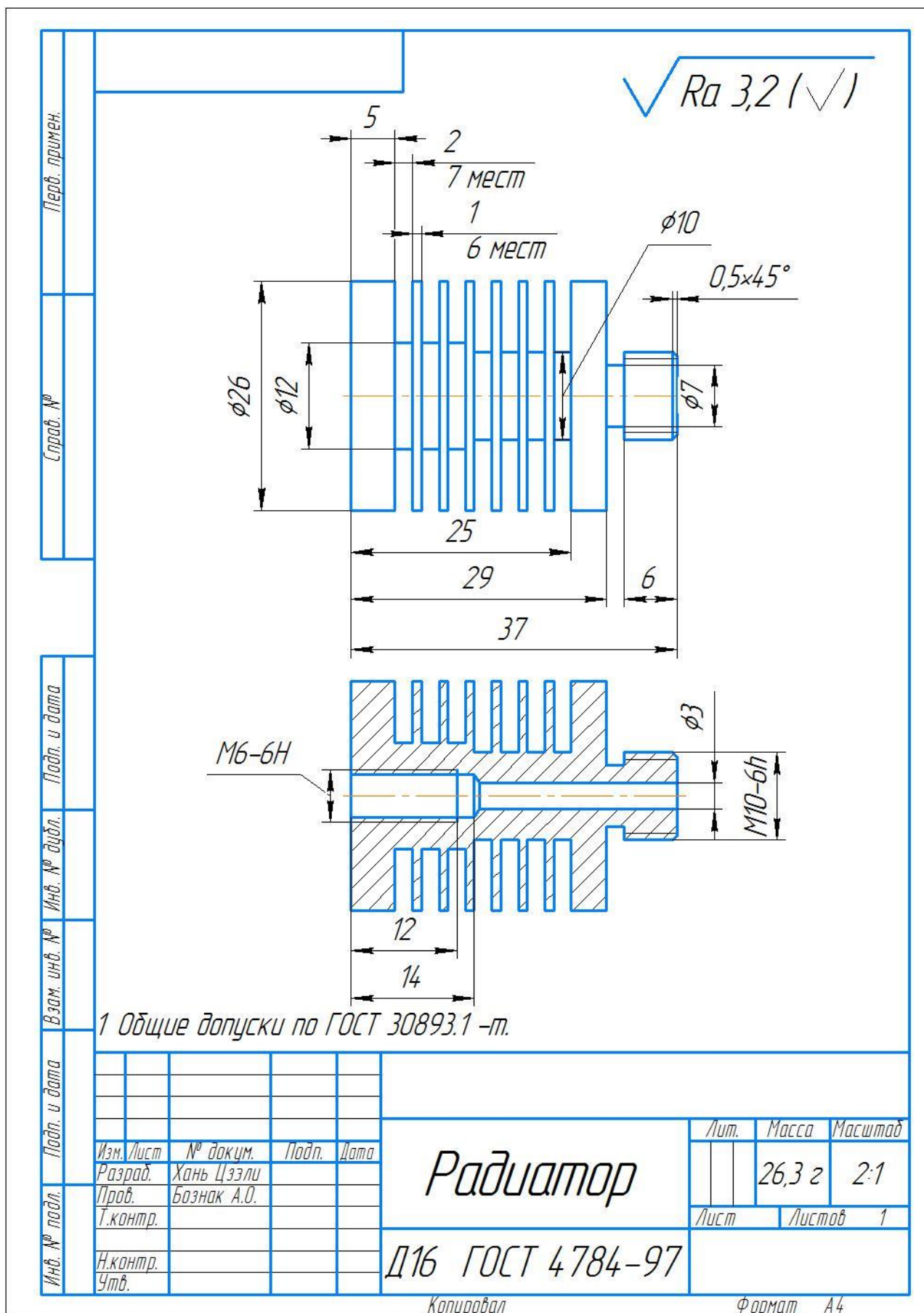


Рисунок 2.2.1.2 - Чертеж детали «Радиатор»



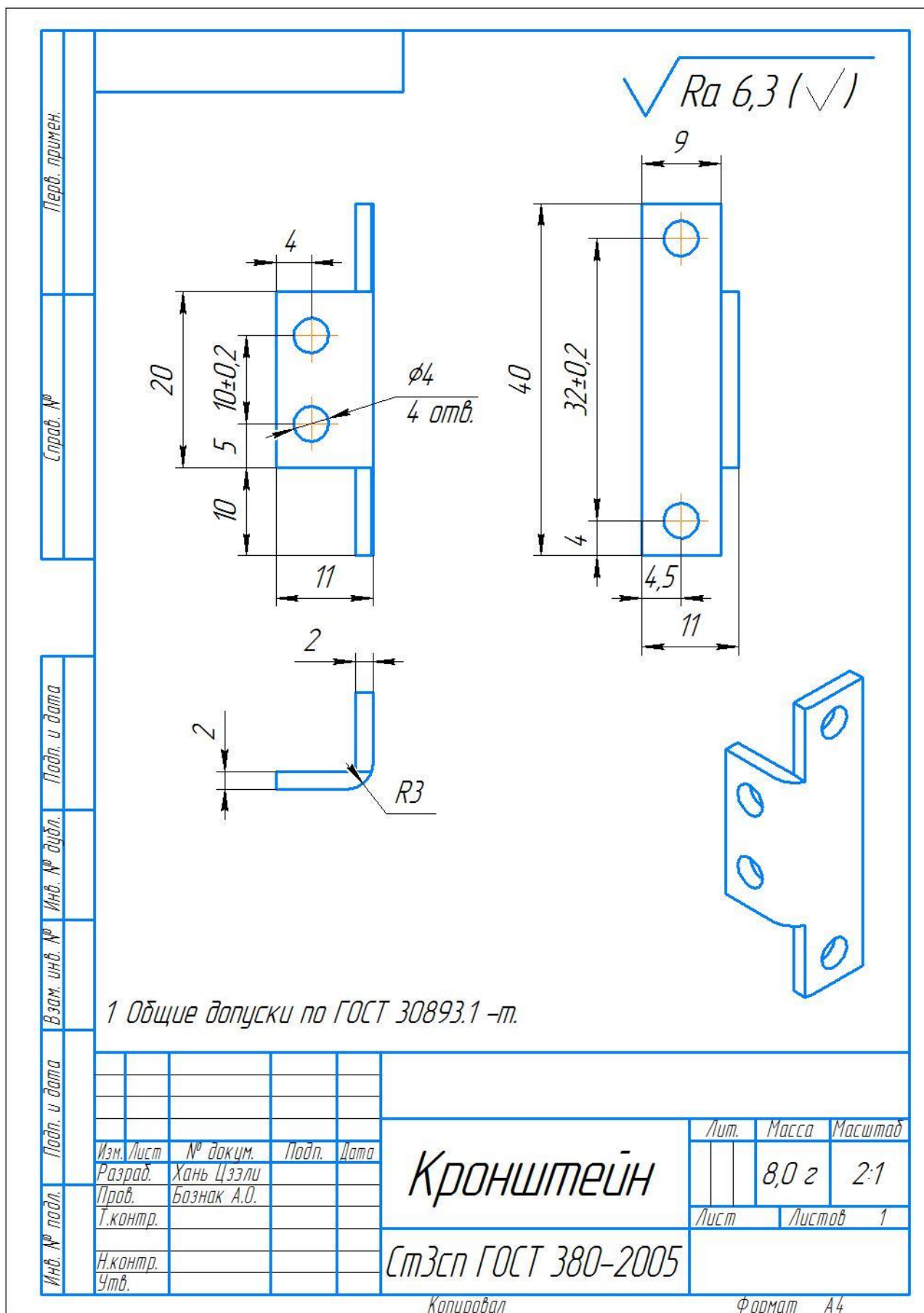


Рисунок 2.2.1.3 - Чертеж детали «Кронштейн»





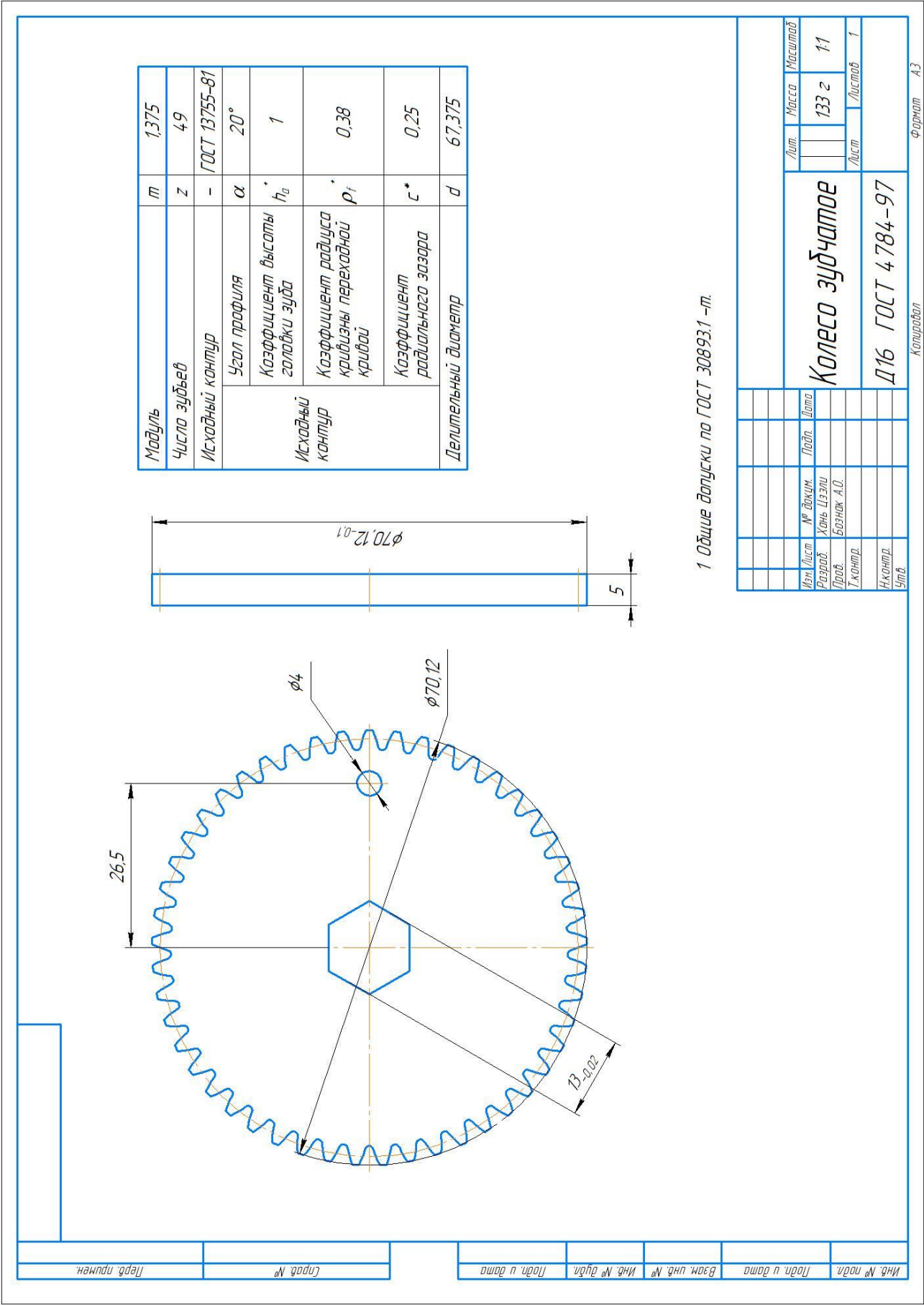


Рисунок 2.2.1.5 - Чертеж детали «Колесо зубчатое»

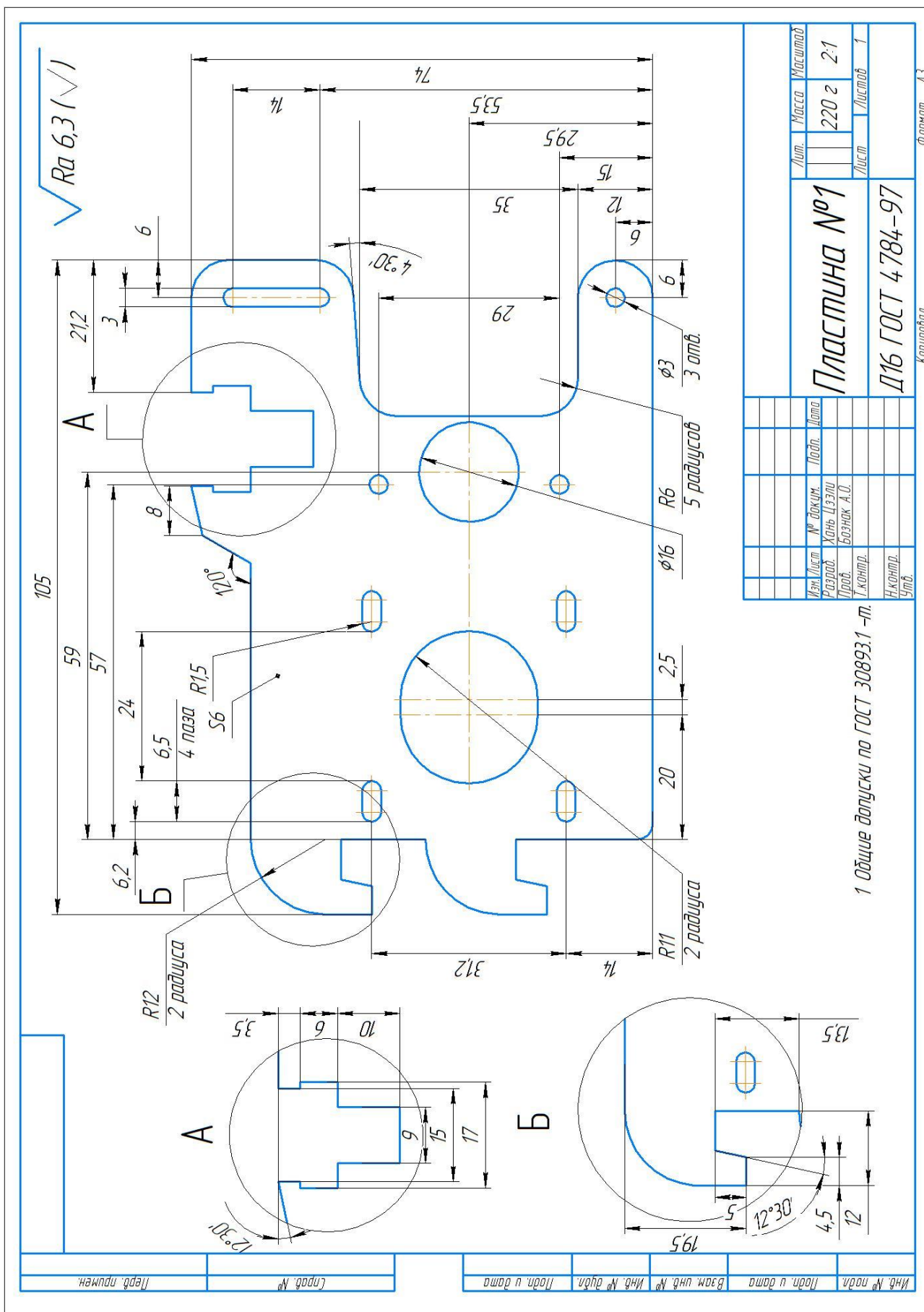


Рисунок 2.2.1.6 - Чертеж детали «Пластина №1»

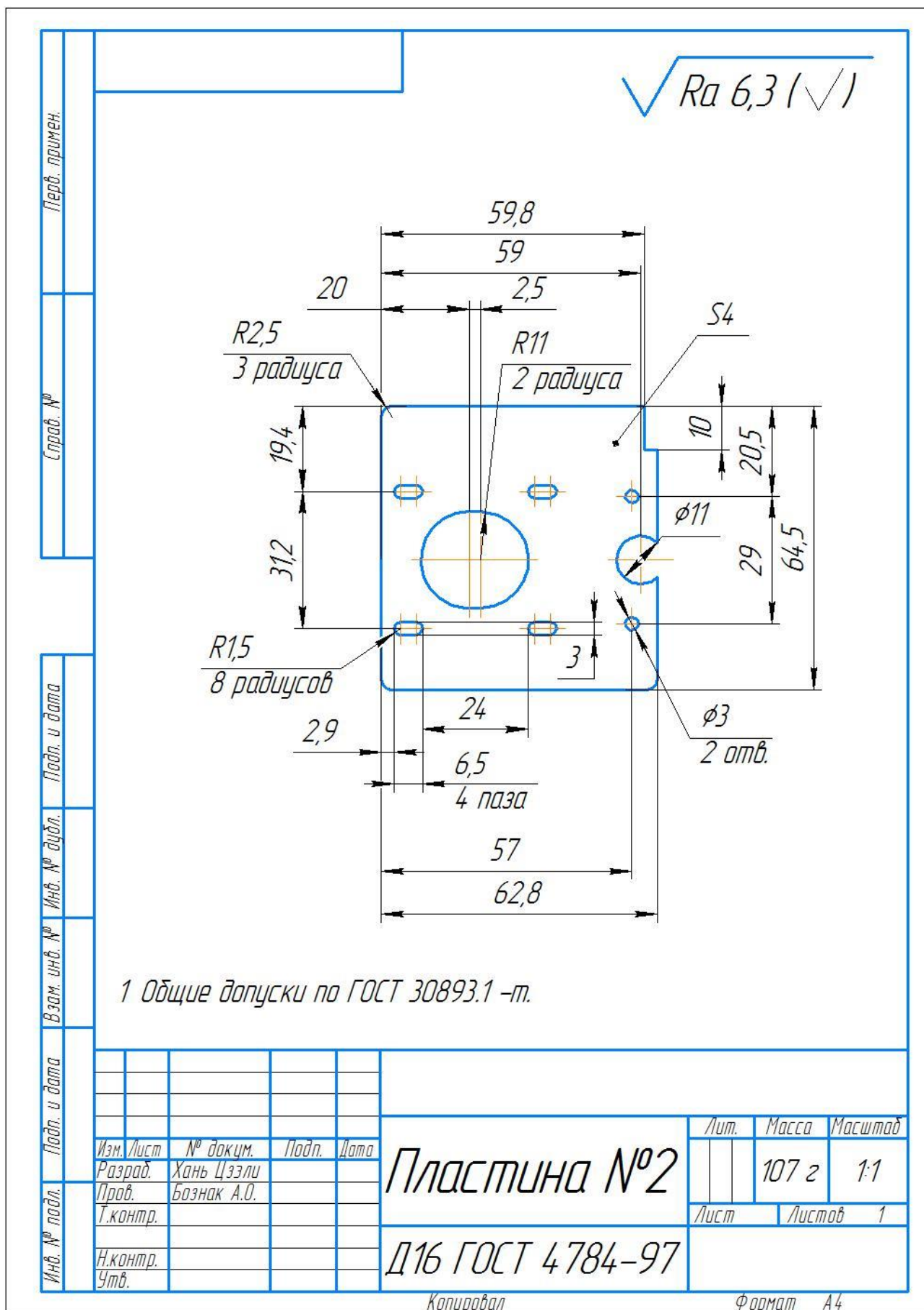


Рисунок 2.2.1.7 - Чертеж детали «Пластина №2»

## 2.2.2 Написание управляющей программ для радиатора

При изготовлении детали радиатора был использован фрезерный станок с ЧПУ EMCO ConceptMill 155 с языком программирования SINUMERIK 840D.

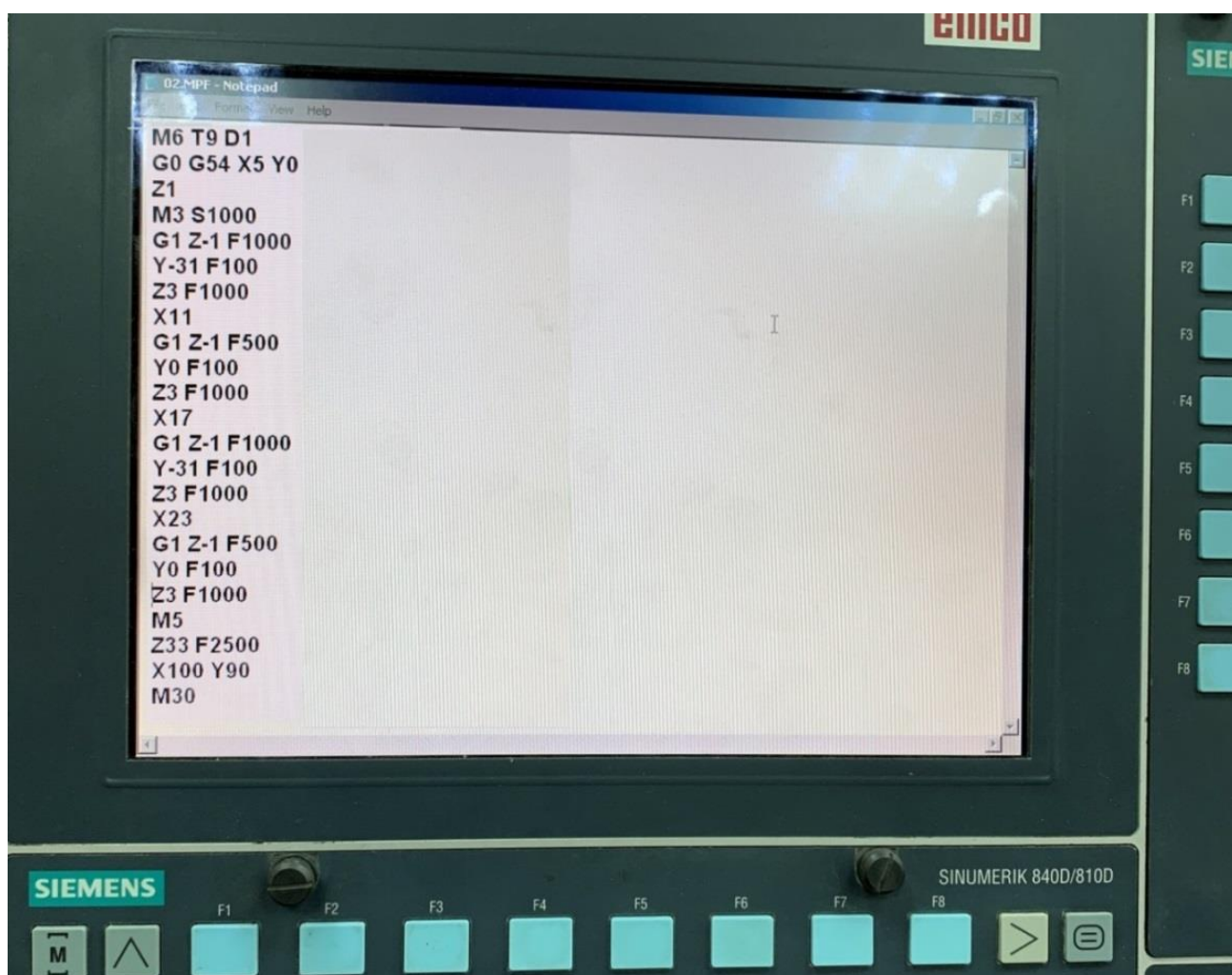


Рисунок 2.2.2.1 - Управляющей программ для радиатора

Таблица 2.2.2.1 - Используемые коды при обработке с ЧПУ

Код	Назначение	Пример
G00	Ускоренное перемещение инструмента	G0 X0 Y0 Z100;
G01	Линейная интерполяция	G01 X0 Y0 Z100 F200;
M03	Начать вращение шпинделя по часовой стрелке	M03
M05	Остановить вращение шпинделя	M05
M06	Сменить инструмент	M06
F	Скорость рабочей подачи	G1 G91 X10 F100
S	Скорость вращения шпинделя	S3000 M3

### 2.2.3 Изготовление деталей

Радиатор был обработан на токарном и фрезерном станке, и резьба нарезана плашкой, изготовленная деталь представлена на рисунке 2.2.3.1.



Рисунок 2.2.3.1 - Результат изготовленного радиатора



Корпус был изготовлен на фрезерном станке, и резьба нарезана метчиком, обработанная деталь представлена на рисунке 2.2.3.2.



Рисунок 2.2.3.2 - Результат изготовленного корпуса



Рисунок 2.2.3.3 - Процесс нарезания резьбы

Зубчатое колесо было изготовлено на электроэрозионном проволочно-вырезном станке.



Рисунок 2.3.2.4 - Зубчатое колесо

#### **2.2.4 Сборка механической части 3D-принтера**

После изготовления всех необходимых изделий следует собрать целую головку экструдера и узла подачи 3D-принтера.

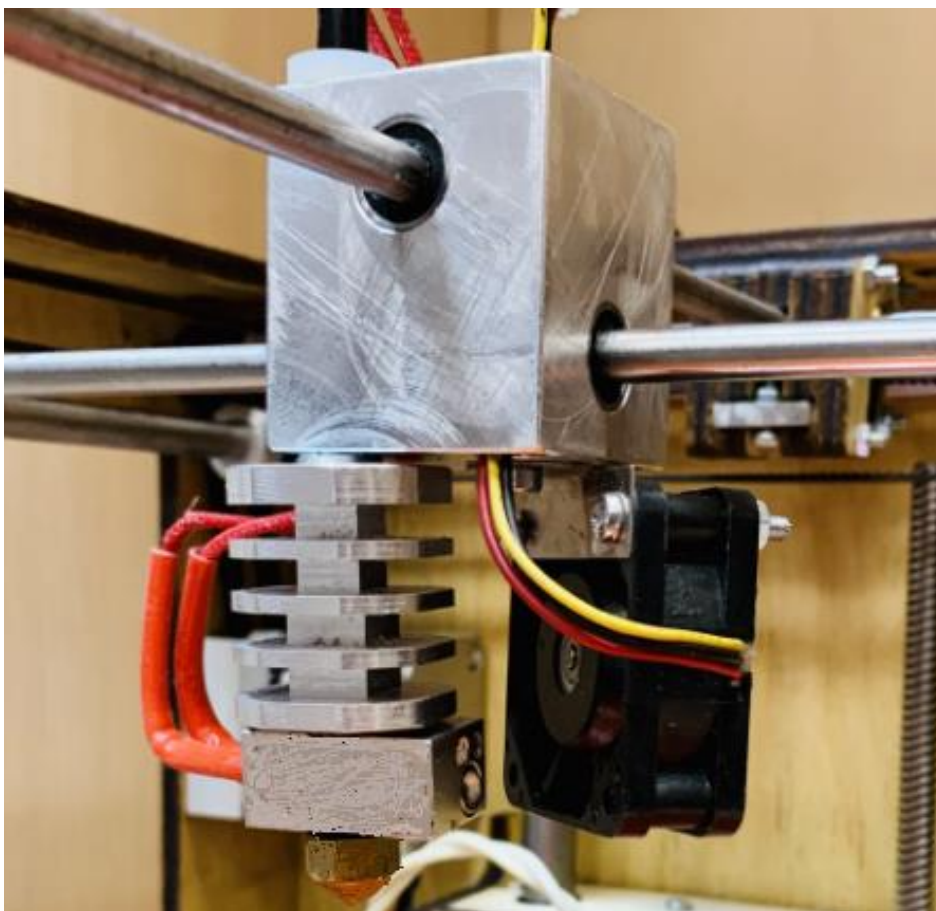


Рисунок 2.2.4.1 - Сборка головки экструдера



Рисунок 2.2.4.2 - Сборка узла подачи 3D-принтера

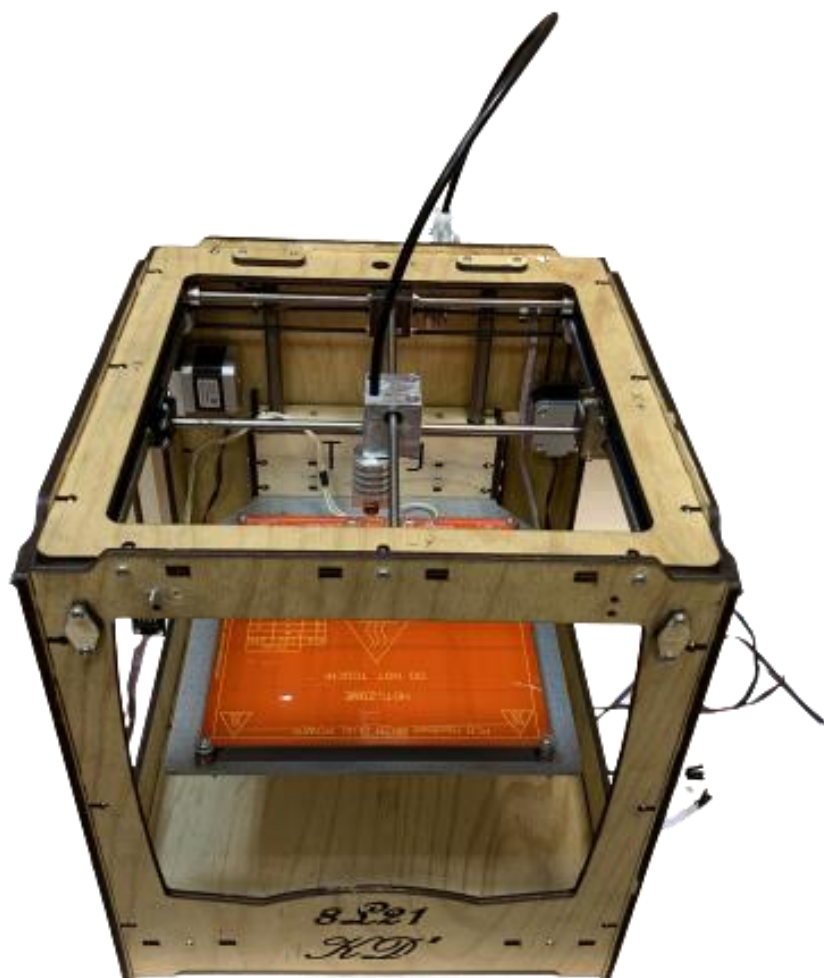


Рисунок 2.2.4.3 - Сборка механической части 3D-принтера



## 2.3 Монтаж электронной платы

Для нашего принтера использовали платформу Arduino в качестве ядра управления всей системой, взаимодействующую с платой адаптера RAMPS1.4 и драйвером A4988 для управления шаговым двигателем и модуль дисплея 12864 для завершения проектирования оборудования настольной системы управления 3D-принтером.

Комплекты электронной платы 3D принтера

- Контроллер - Arduino MEGA 2560 R3;
- Силовая плата - RAMPS 1.4;
- Драйверы шаговых двигателей - A4988;
- Интерфейсная плата - RepRap Discount Full Graphic Smart Controller.

Этапы монтажа электронной платы являются следующие:

- 1) Соединение силовой платы с контроллером;

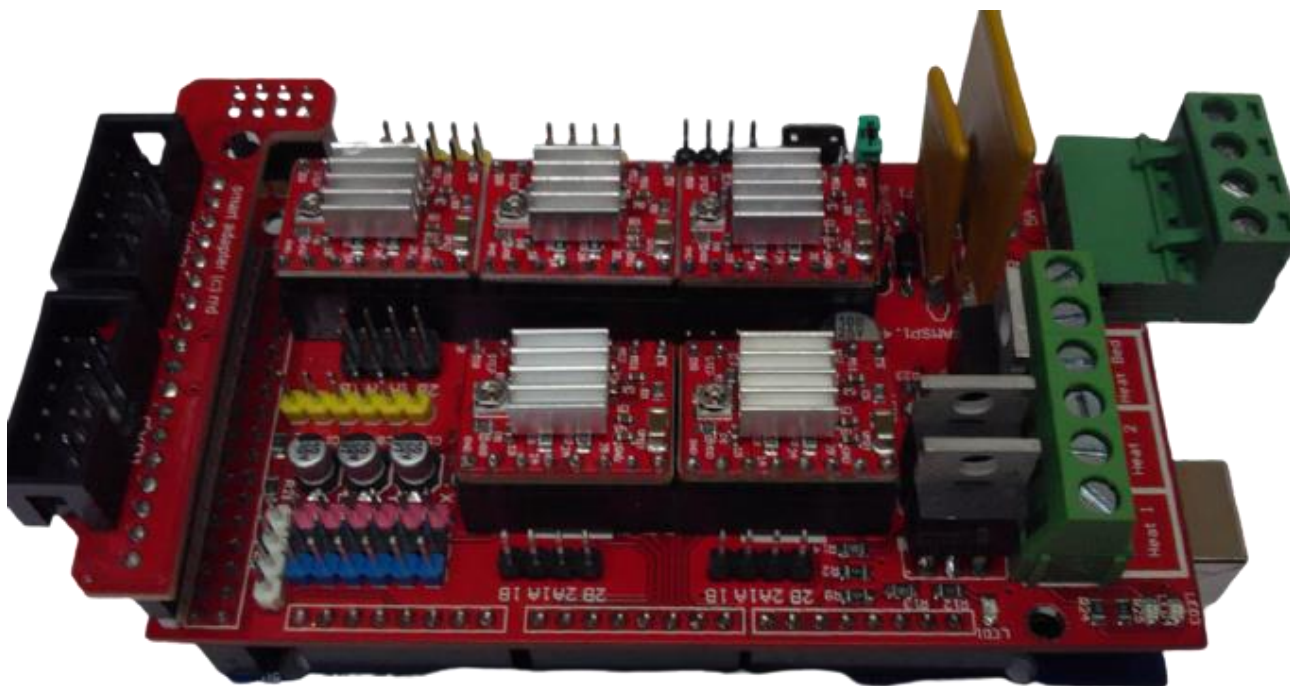


Рисунок 2.3.1 - Соединение силовой платы с контроллером

- 2) Монтаж платы драйверов шаговых двигателей;

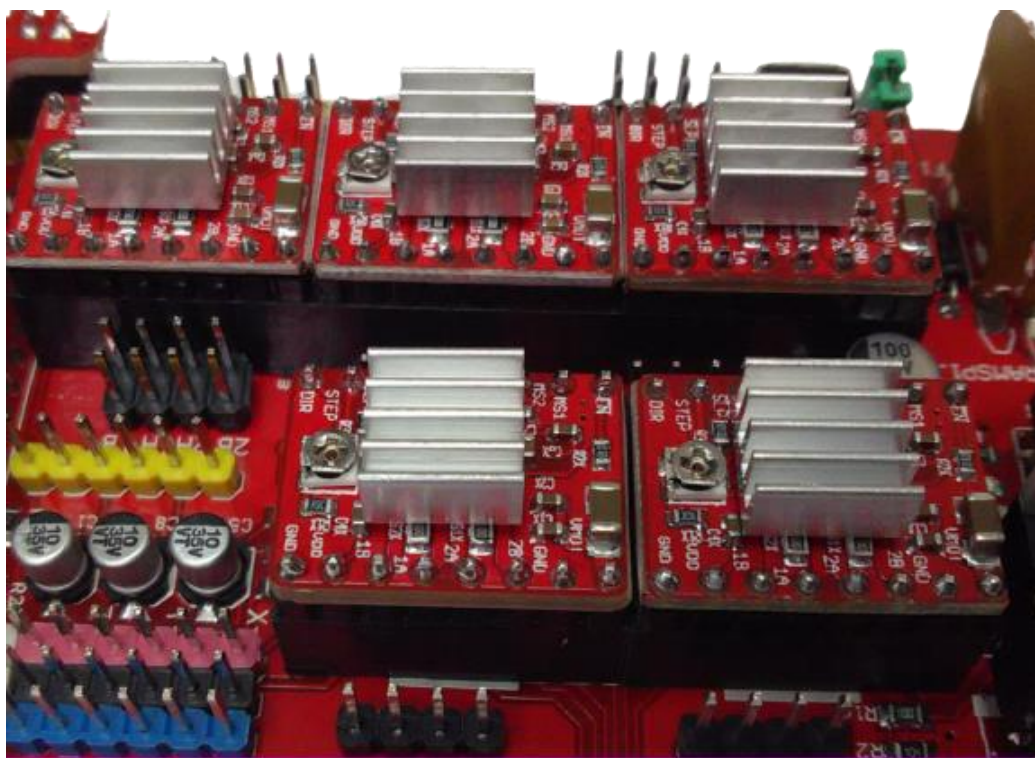


Рисунок 2.3.2 - Монтаж платы драйверов шаговых двигателей

3) Подключение интерфейсной платы к силовой плате;

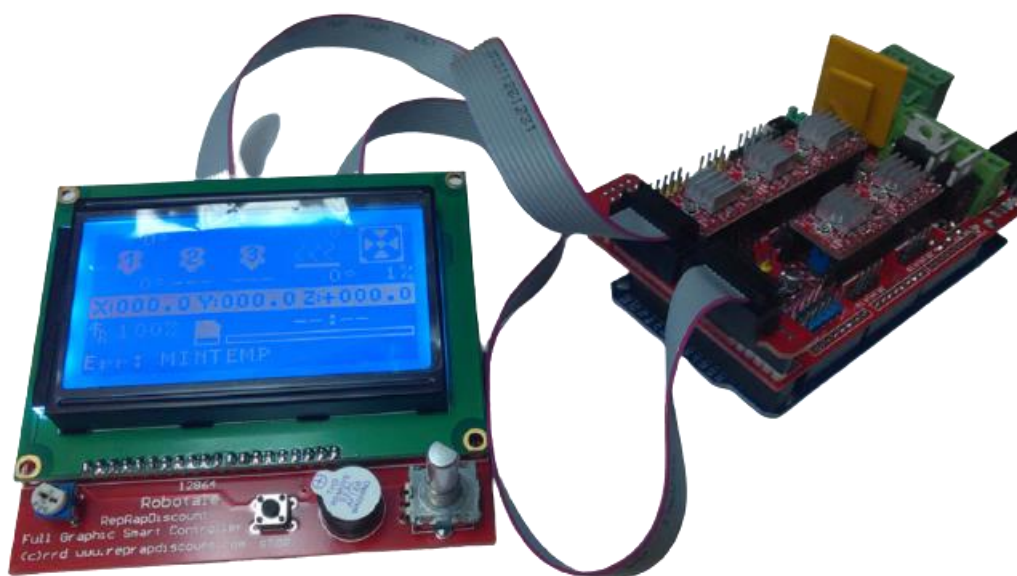


Рисунок 2.3.3 - Подключение интерфейсной платы к силовой плате

4) Соединение концевого выключателя, нагревателей стола и экструдера, датчиков температуры стола и экструдера, платы нагревателя и моторов (XYZ) с силовой платой.

На рисунке 2.3.4 подробно показано расположение кабелей подключения элементов 3D-принтера.

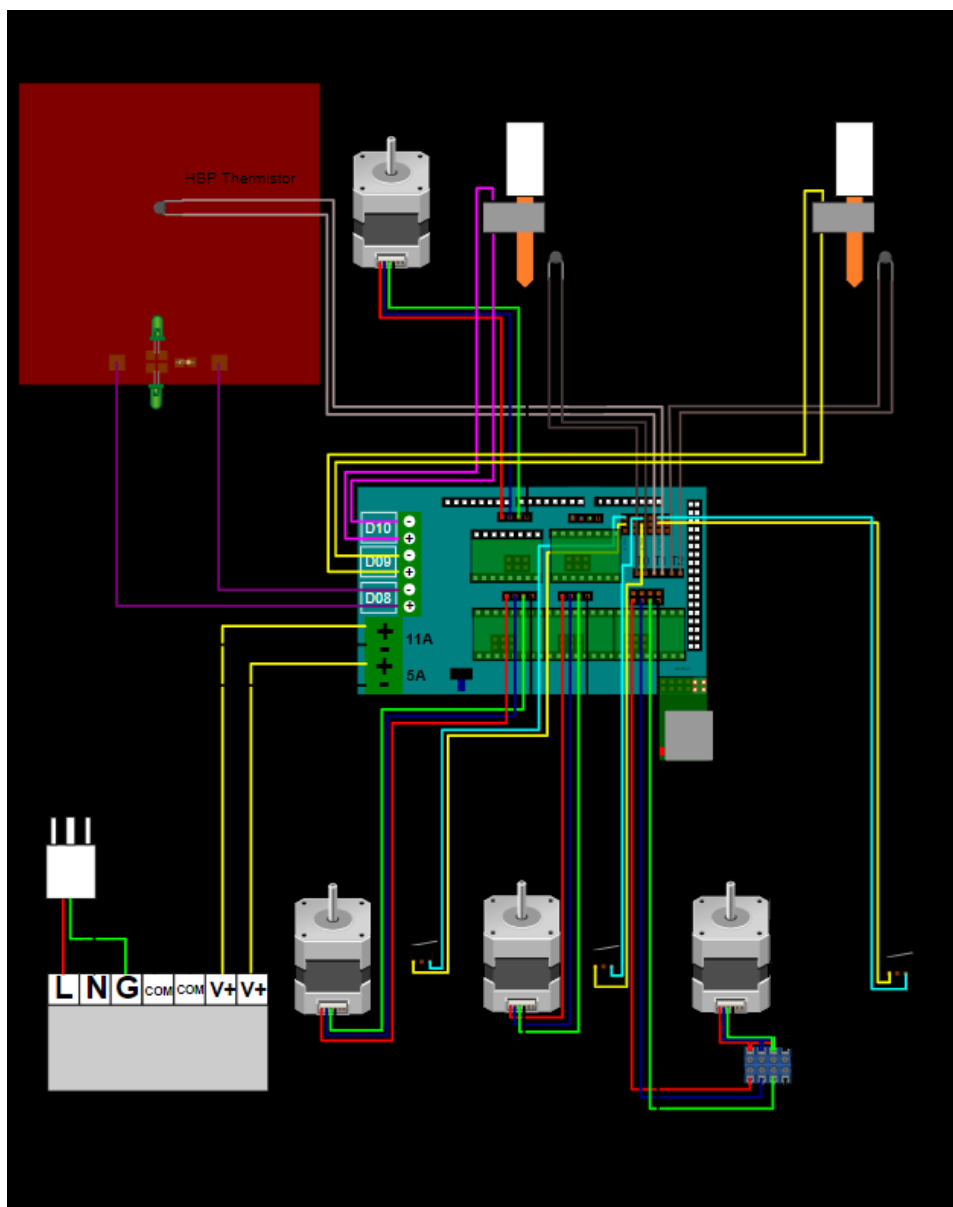


Рисунок 2.3.4 - Схема подключения электронных компонентов

### Заключение по разделу

В этом разделе были выполнены конструкторские документации для модернизированного модуля перемещения 3D-принтера; разработаны управляющие программы для станков с числовым программным управлением (корпус; радиатор; кронштейн; направляющая втулка); изготовлены детали(корпус; радиатор; кронштейн; направляющая втулка); собран узел модуля перемещения 3D-принтера; смонтирована электронная плата; выполнен монтаж электронной платы и сборки целого 3D-принтера.

В следующем разделе рассмотрено как работает 3D-принтера имена какая у него точность печати.

### 3 Исследовательская часть

После сборки 3D-принтера необходимо провести пробную эксплуатацию для того, чтобы узнать какие технологические возможности имеет данный 3D-принтер; сделать анализ статистических погрешностей обработки заготовок; и выполнить коррекцию точности 3D-принтера.

#### 3.1 Печать экспериментальной детали

Чтобы провести анализ статистических погрешности обработки были изготовлены образцы, геометрия которых имеет основные элементы заготовок (плоскости, отверстия, радиусы, наклонные поверхности).

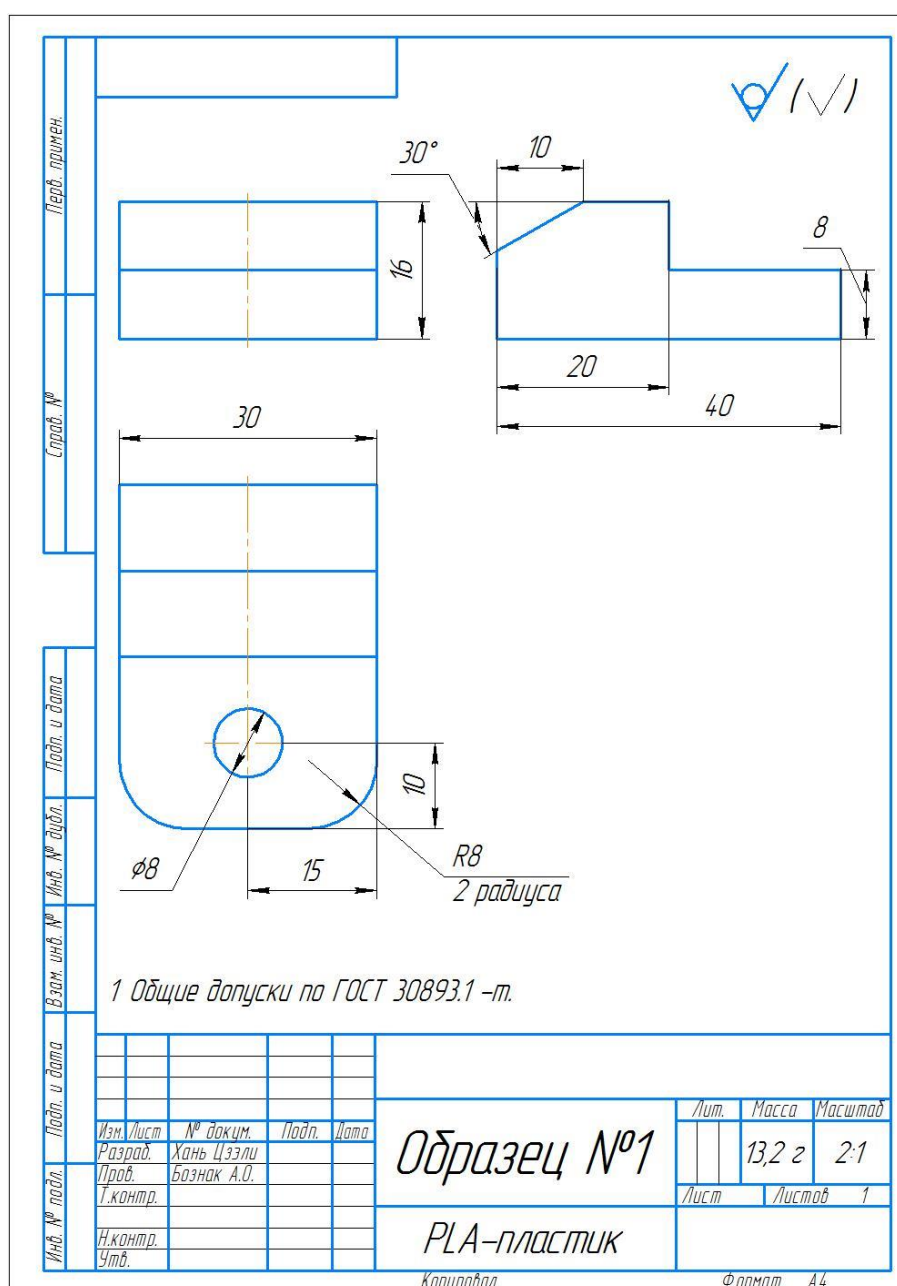


Рисунок 3.1.1 - Чертеж детали «Образец №1»

- В программе «Simplify 3D» импортируем STL-файл описания 3D модель детали «Образец №1»;

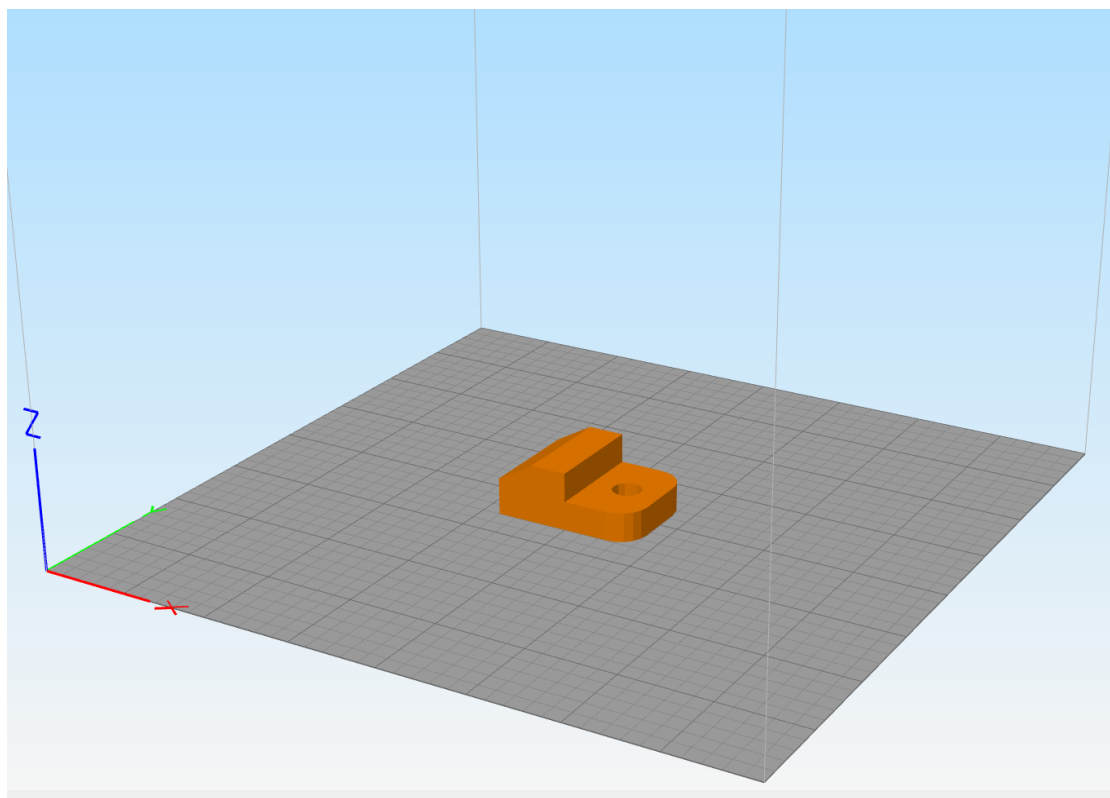


Рисунок 3.1.2 - 3D модель детали «Образец №1» в программе «Simplify 3D»

- Установка всех важных параметров в программе;

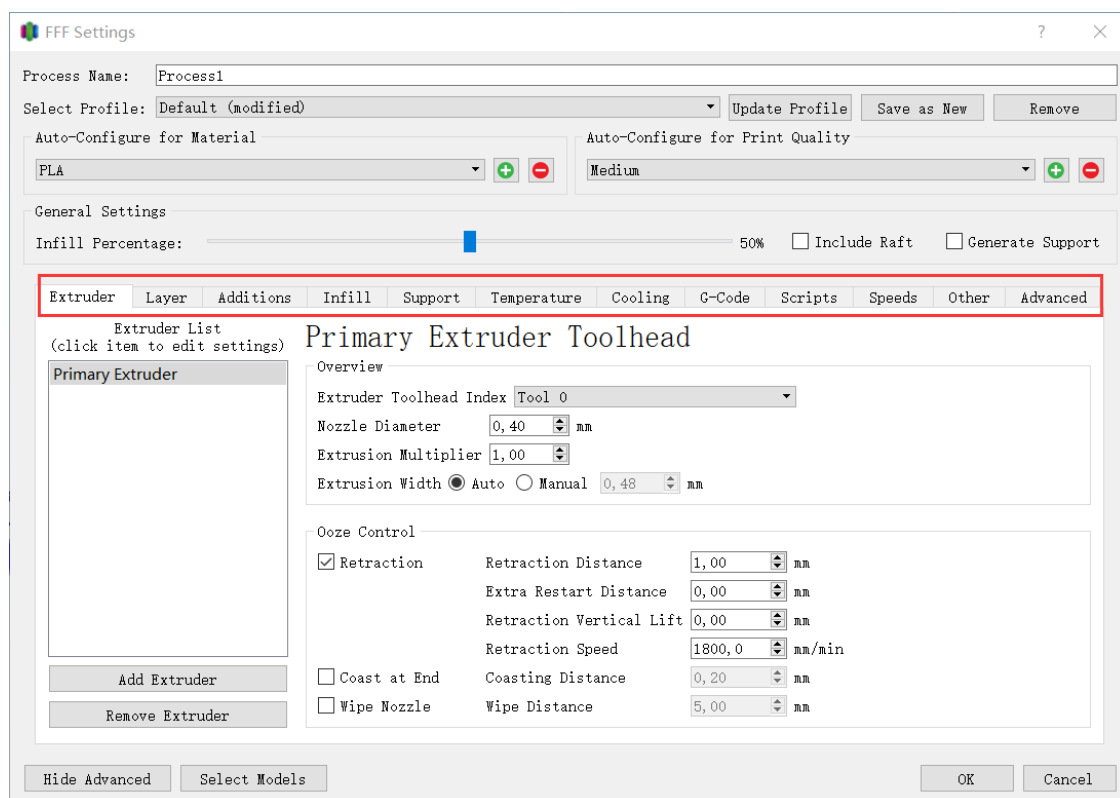


Рисунок 3.1.3 - Установка параметров



- Выполнить срез модели «Образец №1» и передача данные 3D-принтеру через дата-кабель (USB).

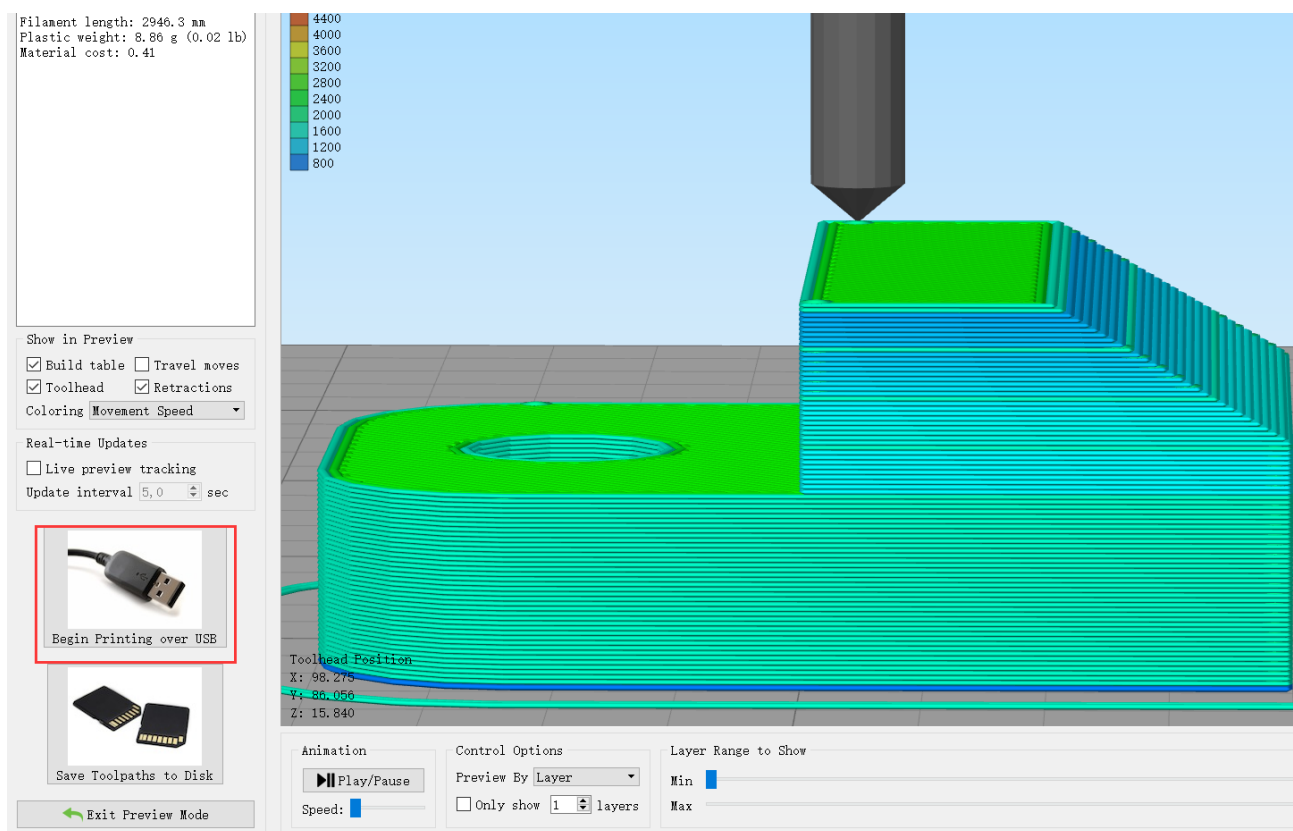


Рисунок 3.1.4 - Срез модели

- Процесс печати детали и результат печати.

На этом этапе было напечатано 4 образца для дальнейшего анализа точности.

Время печати одной детали: 45 минут.

Расход материала (нить): 2946,3 мм/шт.

Масса детали: 8,86 грамм.

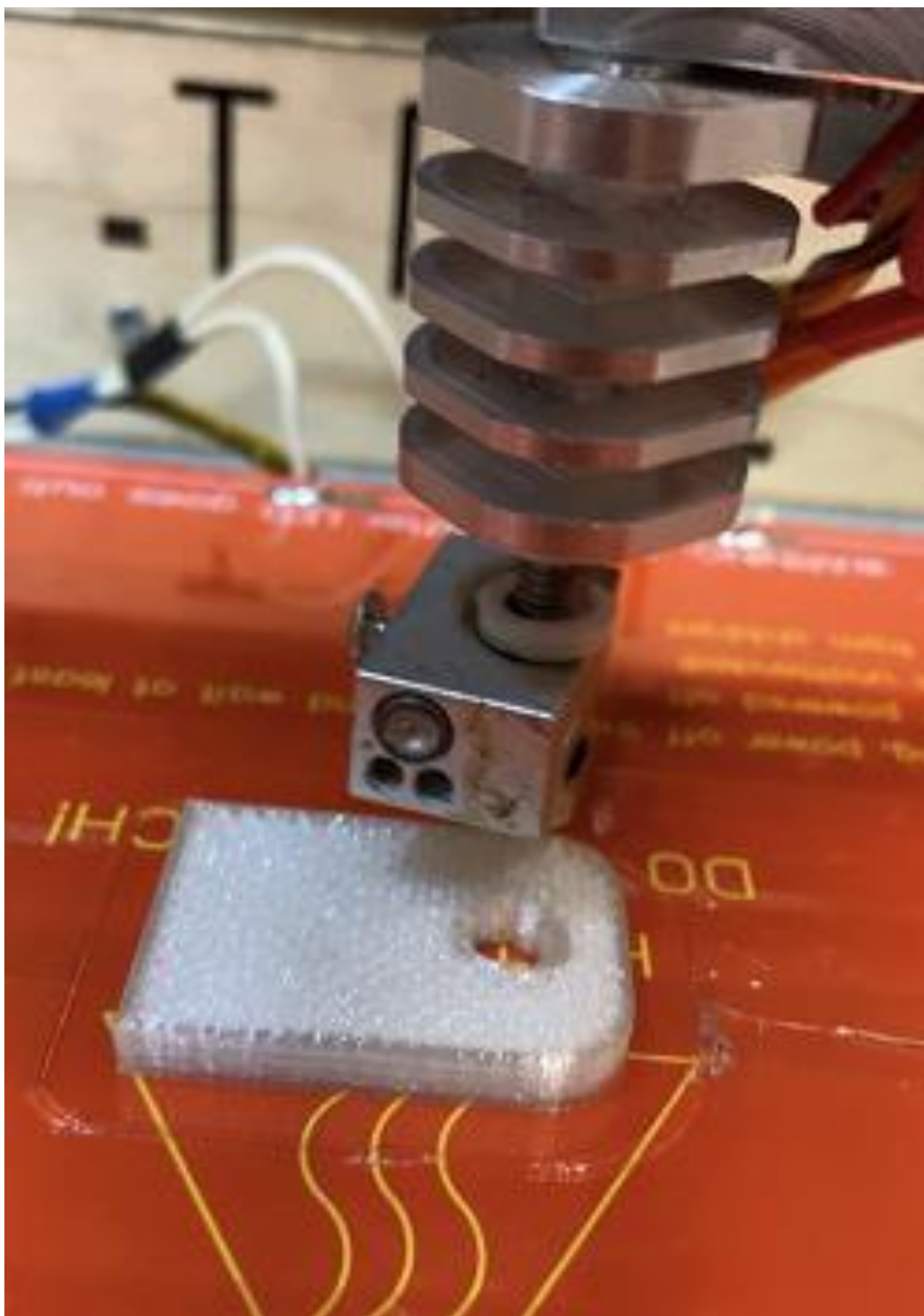


Рисунок 3.1.5 - Процесс печати



Рисунок 3.1.6 - Результат печати



### 3.2 Анализ статистических погрешностей обработки 3D-принтера

Результаты испытаний могут представлять собой выборку значений из дискретной или непрерывной случайной величины. В нашем случае это параметр является размером, то есть непрерывная случайная величина. Обычно, в процессе испытания получается выборка значений непрерывных случайных величин и получается определенное распределение вероятности получения значения (интервалов значений). Чаще всего встречаются нормальное распределение. Точнее, реальные распределения более часто бывают достаточно близки к нормальному. Поэтому метод анализа точности будет критерий кривых распределения.

Математическое ожидание  $M$  – сумма произведений возможных значений случайной величины на их вероятности. Оно является центром группировки результатов испытаний.

$$M(X) = \sum_{i=1}^n x_i p_i$$

Среднеквадратическое отклонение характеристика рассеяния результатов.

$$D(x) = \frac{\sum_{i=1}^n [x_i - \bar{X}]^2 \cdot m_i}{n}$$

$$\sigma(x) = \sqrt{D(x)}$$

При получении всех напечатанных изделий следует измерить размеры деталей. Были исследованы следующие размеры: диаметр отверстия D8, линейный размер по оси Z - 16, линейный размер по оси Y - 30, линейный размер по оси X – 40, угловой размер 30°. Во времени измерении линейных размеров был использован цифровой штангенциркуль (рисунок 2.1.1), а угловой размер измеряли универсальным измерительным микроскопом УИМ-21 (рисунок 3.2.1).



Рисунок 3.2.1 - УИМ-21

Результаты измерения представлены в таблице 3.2.1.

Таблица 3.2.1 - Измерительные данные

<b>Размер</b> <b>Номер детали</b>	<b>D8</b>	<b>16</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>30°</b>
<b>1</b>	7,61	15,71	29,41	38,89	30,233°
	7,57	15,62	29,6	38,92	
	7,39	15,67	29,53	38,99	
	7,34	15,73	29,66	38,96	
<b>2</b>	7,16	15,71	29,34	38,82	31,183°
	7,47	15,78	29,51	38,84	
	7,34	15,84	29,77	38,89	
	7,19	15,8	29,59	38,91	
<b>3</b>	7,45	15,86	29,45	39,12	30,217°
	7,33	16,05	29,34	38,95	
	7,35	15,91	29,79	39,05	
	7,46	16	29,46	39,04	
<b>4</b>	7,58	15,84	29,42	38,95	30,233°
	7,21	15,78	29,57	38,86	
	7,25	15,76	29,66	38,85	
	7,3	15,89	29,62	38,9	

Для проверки нормальности воспользуемся описательной статистикой, сравним критическое и фактическое значение эксцесса и асимметрии при уровне значимости  $\alpha=0,05$  (5%); графический метод: строим графики гистограммы и теоретической кривой нормального распределения размеров, и получим интуитивное суждение через схожесть двух графики.

Таблица 3.2.2 - Критические значения коэффициента эксцесса ( $E_{кр.}$ )

Объём выборки n	Уровни значимости, %		
	10	5	1
11	0,890	0,907	0,936
16	0,873	0,888	0,914
21	0,863	0,877	0,900
26	0,857	0,869	0,890
31	0,851	0,863	0,883
36	0,847	0,858	0,877
41	0,844	0,854	0,872
46	0,841	0,851	0,868
51	0,839	0,848	0,865
61	0,835	0,843	0,859
71	0,832	0,840	0,855
81	0,830	0,838	0,852
91	0,828	0,835	0,848
101	0,826	0,834	0,846
201	0,818	0,823	0,832
301	0,814	0,818	0,826
401	0,812	0,816	0,822
501	0,810	0,814	0,820
P	0,10	0,05	0,01

Таблица 3.2.3 - Критические значения асимметрии ( $A_{кр.}$ ) при  $\alpha=0,05$

$m$	$A_3$
5	1,05
10	0,92
15	0,84
20	0,79
25	0,711
30	0,662
35	0,621
40	0,587
45	0,558
50	0,534
60	0,492
70	0,459
80	0,432
90	0,409
100	0,389
125	0,350
150	0,321
175	0,298
200	0,280
250	0,251
300	0,230
350	0,213
400	0,200
500	0,179
750	0,146
1000	0,127

### 3.2.1 Анализ точности для размера D8

Полученные описательные статистики с помощью Microsoft Excel представлены в таблице 3.2.1.1.

Таблица 3.2.1.1 - Описательные статистики для размера D8

Наименование	Значение
Среднее	7,375
Стандартное отклонение	0,139
Эксцесс	-0,868
Асимметричность	0,213
Максимум	7,61
Минимум	7,16
Интервал	0,45

$$E_{\text{факт.}} = -0,868,$$

При  $\alpha=0,05$ ,

$$E_{\text{кр.}} = 0,888,$$

Поскольку  $E_{\text{кр.}} > |E_{\text{факт.}}|$ , то делаем вывод, что распределение нормально.

Критическое значение асимметрии берем из специальной таблицы для  $\alpha=0,05(5\%)$  и  $m = 15$  (близлежащий к 16)

$$A_{\text{факт.}} = 0,213,$$

При  $\alpha=0,05$ ,

$$A_{\text{кр.}} = 0,84.$$

Поскольку  $A_{\text{кр.}} > |A_{\text{факт.}}|$ , то делаем вывод, что распределение нормально.

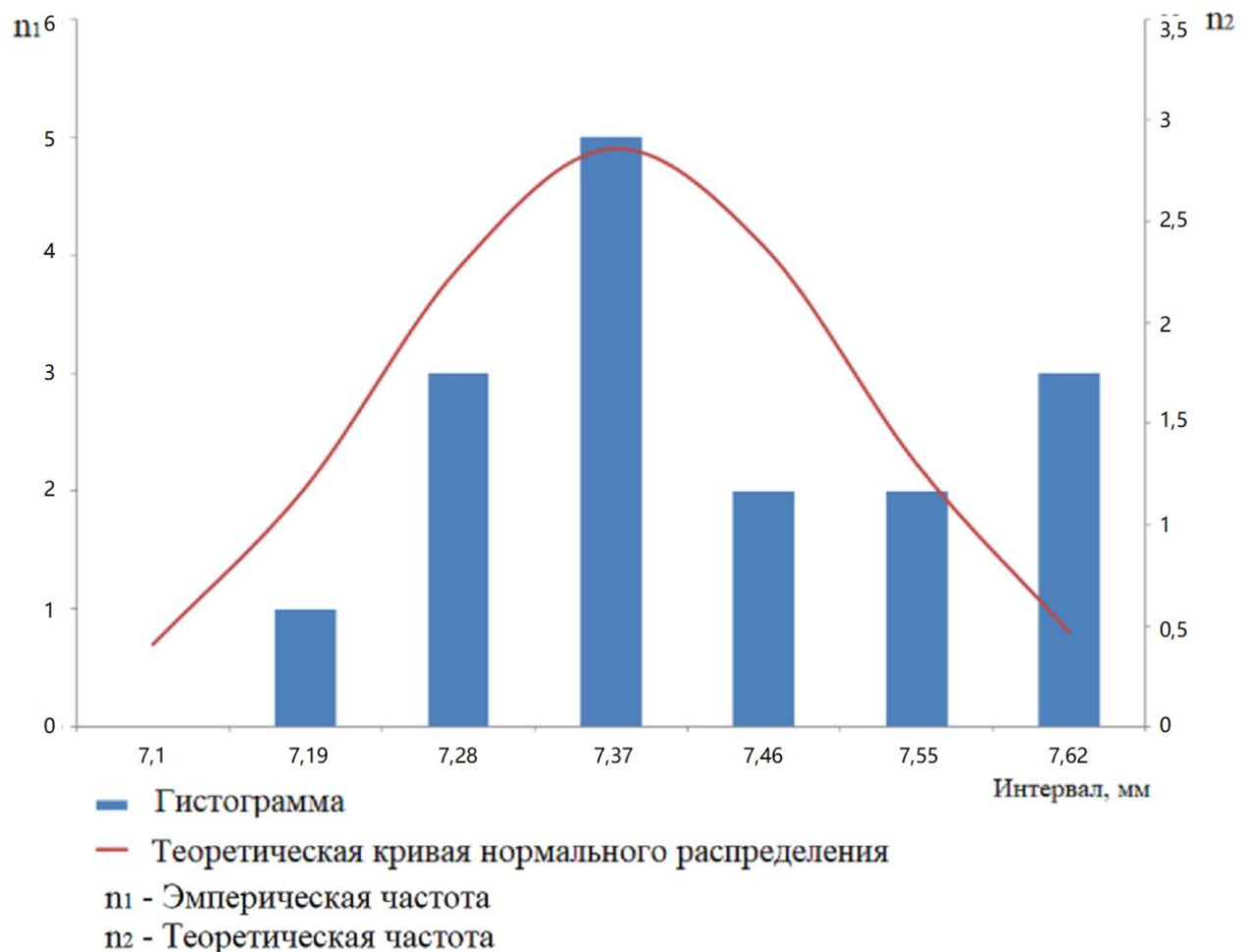


Рисунок 3.2.1.1 - Гистограмма и теоретическая кривая нормального распределения размеров

Из графики мы видим, что данное распределение близко к нормальному.



### 3.2.2 Анализ точности для размера по оси Z - 16

Полученные описательные статистики с помощью Microsoft Excel представлены в таблице 3.2.2.1.

Таблица 3.2.2.1 - Описательные статистики для размера 16

Наименование	Значение
Среднее	15,809
Стандартное отклонение	0,111
Эксцесс	0,030
Асимметричность	0,514
Максимум	16,05
Минимум	15,62
Интервал	0,43

$$E_{\text{факт.}} = 0,030$$

$$\text{При } \alpha=0,05, \quad E_{\text{кр.}} = 0,888,$$

Поскольку  $E_{\text{кр.}} > |E_{\text{факт.}}|$ , то делаем вывод, что распределение нормально.

Критическое значение асимметрии берем из специальной таблицы для  $\alpha=0,05(5\%)$  и  $m = 15$  (близлежащий к 16)

$$A_{\text{факт.}} = 0,514,$$

$$\text{При } \alpha=0,05, \quad A_{\text{кр.}} = 0,84.$$

Поскольку  $A_{\text{кр.}} > |A_{\text{факт.}}|$ , то делаем вывод, что распределение нормально.



Рисунок 3.2.2.1 - Теоретическая кривая нормального распределения и гистограмма размеров

Из графики мы видим, что данное распределение близко к нормальному.

### 3.2.3 Анализ точности для размера по оси Y - 30

Полученные описательные статистики с помощью Microsoft Excel представлены в таблице 3.2.3.1.

Таблица 3.2.3.1 - Описательные статистики для размера 30

Наименование	Значение
Среднее	29,545
Стандартное отклонение	0,138
Экцесс	-0,706
Асимметричность	0,195
Максимум	29,79
Минимум	29,66
Интервал	0,45



$$E_{\text{факт.}} = -0,706$$

При  $\alpha=0,05$ ,

$$E_{\text{кр.}} = 0,888,$$

Поскольку  $E_{\text{кр.}} > |E_{\text{факт.}}|$ , то делаем вывод, что распределение нормально.

Критическое значение асимметрии берем из специальной таблицы для  $\alpha=0,05(5\%)$  и  $m = 15$  (близлежащий к 16)

$$A_{\text{факт.}} = 0,195,$$

При  $\alpha=0,05$ ,

$$A_{\text{кр.}} = 0,84.$$

Поскольку  $A_{\text{кр.}} > |A_{\text{факт.}}|$ , то делаем вывод, что распределение нормально.



Рисунок 3.2.3.1 - Гистограмма и теоретическая кривая нормального распределения размеров

На графике мы видим, что можно сказать данное распределение близко к нормальному.

### 3.2.4 Анализ точности для размера по оси X - 40

Полученные описательные статистики с помощью Microsoft Excel представлены в таблице 3.2.4.1.

Таблица 3.2.4.1 - Описательные статистики для размера 40

Наименование	Значение
Среднее	38,9475
Стандартное отклонение	0,099
Эксцесс	-0,876
Асимметричность	0,655
Максимум	39,12
Минимум	38,82
Интервал	0,3

$$E_{\text{факт.}} = -0,876$$

$$\text{При } \alpha=0,05, \quad E_{\text{кр.}} = 0,888,$$

Поскольку  $E_{\text{кр.}} > |E_{\text{факт.}}|$ , то делаем вывод, что распределение нормально.

Критическое значение асимметрии берем из специальной таблицы для  $\alpha=0,05(5\%)$  и  $m = 15$  (близлежащий к 16)

$$A_{\text{факт.}} = 0,655,$$

$$\text{При } \alpha=0,05, \quad A_{\text{кр.}} = 0,84.$$

Поскольку  $A_{\text{кр.}} > |A_{\text{факт.}}|$ , то делаем вывод, что распределение нормально.

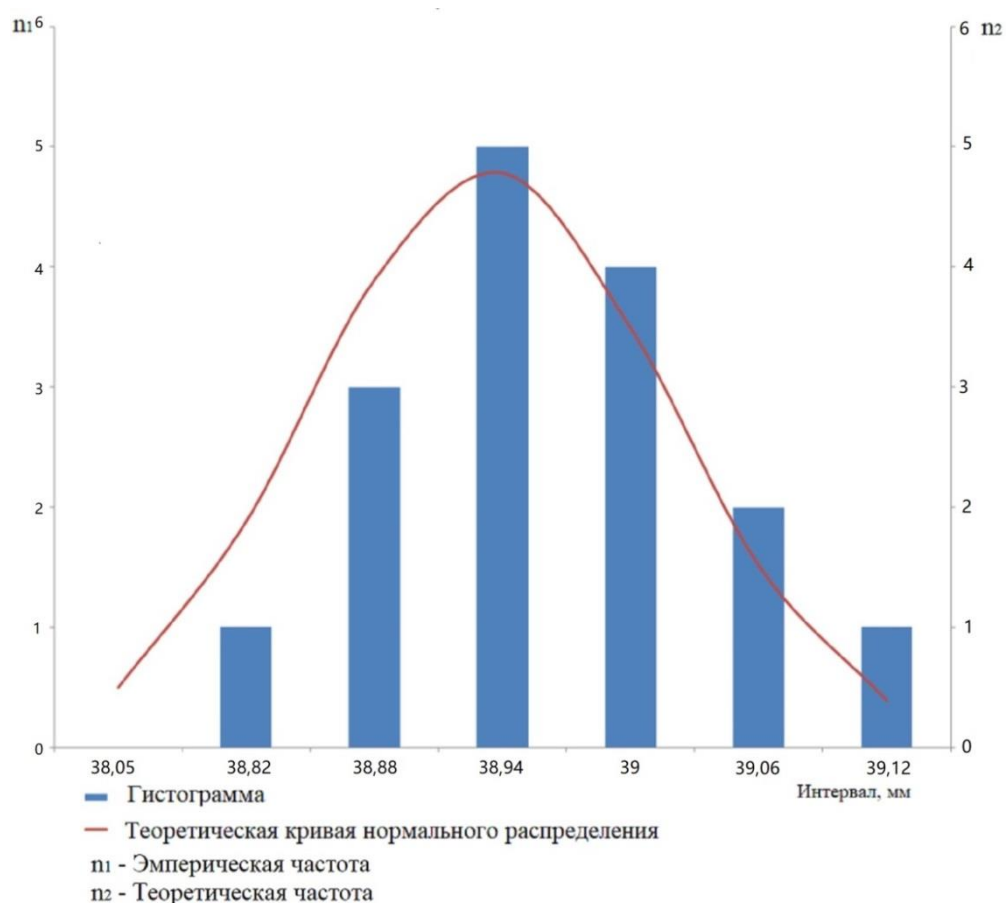


Рисунок 3.2.4.1 - Гистограмма и теоретическая кривая нормального распределения размеров

На графике мы видим, что данное распределение близко к нормальному.

### 3.2.5 Анализ точности для углового размера - 30°

Для этого размера из-за малого количества данных, которые представлены в таблица 3.2.1 (было проведено всего четыре измерения: 30,233°, 31,183°, 30,217°, 30,233°), мы не делаем анализ точности с помощью кривой распределения, а только сравним результаты напечатанных деталей с номинальным назначением, получим вывод такого, что полученные значения не сильно отклонятся от номинального.

После анализ точности для всех важных параметров получим такой вывод: для каждого линейного размера в соответствии с нормальным распределением при разных методах проверки нормальности.

Определив параметры всех линейных размеров, такие как: среднее,

максимальное и минимальное значение и размах, мы получим вывод о том, что точность 3D-принтер не высокая. И качество поверхности тоже не идеально. Следовательно, требуется найти причины и улучшить эту ситуацию.

Таблица 3.2.5.1 - Статистические данные

Параметр, мм	$D = 8$	$L = 16$	$L = 30$	$L = 40$
Действительное среднее значение, мм	7,375	15,809	29,545	38,948
Действительное максимальное значение, мм	7,61	16,05	29,79	39,12
Действительное минимальное значение, мм	7,16	15,62	29,34	38,82
Размах выборки R, мм	0,45	0,43	0,45	0,3
Доверительный интервал при ( $\alpha = 95\%$ ), мм	0,139	0,116	0,138	0,1

### 3.3 Коррекция 3D-принтера

Проанализировав конструкцию принтера и ситуацию в целом, было сделано предположение, что возможной причиной неточного размера может быть прошивка, а именно - настройка количества импульсов, необходимых для шагового двигателя для каждого перемещения на 1 мм по осям X, Y, Z и E. Показано на рисунке 3.3.1.

```

530 * Default Axis Steps Per Unit (steps/mm)
531 * Override with M92
532 *
533 */
534 #define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT {71, 75, 400, 840 }
```

Рисунок 3.3.1 - Код для установки количества импульсов

Поэтому надо перенастроить эти параметры с проведением ряда экспериментальных испытаний.

А качество поверхности с большой вероятностью зависит от температуры головки экструдера. Поэтому во времени испытаний мы настроим количество импульсов, лучше одновременно изменять температуру нагревателя.

Чтобы выполнять коррекцию принтера, изготавливали заготовки простой формы «Образец №2», представленные на рисунке 3.3.2.

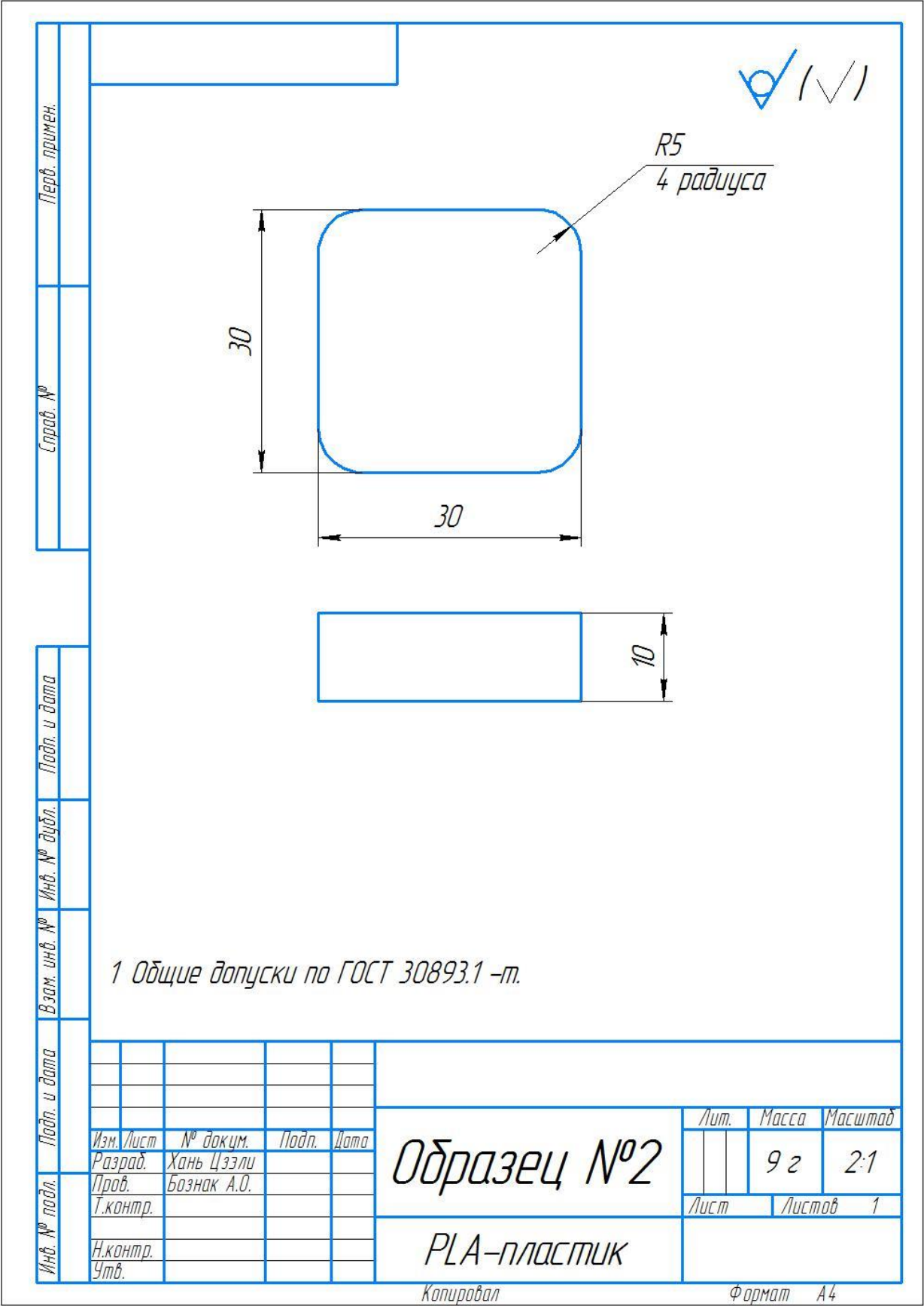







Рисунок 3.3.2 - Чертеж детали «Образец №2»

Далее в таблице 3.3.1 показаны процессы коррекции трехмерного принтера.

Таблица 3.3.1 - Процессы коррекции трехмерного принтера

	<b>Попытка</b>				
<b>Параметры</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Количество импульса на оси X</b>	78,74	75	74	73,5	73,5
<b>Количество импульса на оси Y</b>	78,74	78,4	78,3	78	77,4
<b>Размер в направлении X, мм</b>	32,09	30,72	30,27	30,05	30,03
<b>Размер в направлении Y, мм</b>	30,42	30,54	30,28	30,26	30,06
<b>Температура нагревателя</b>	202 °C	202 °C	221 °C	222 °C	222 °C
<b>Качество поверхности</b>					

В итоге получим успешную коррекцию точности линейного размера и повышенное качество поверхности при температуре нагревателя 222 °C.

### 3.4 Обработка результатов экспериментов

После коррекции принтера напечатать детали «Образец №1», чертёж представлен на рисунке 3.1.1. Полученные данные измерения представлены в таблице 3.4.1, результат измерения представлен на рисунке 3.4.1.

Таблица 3.4.1 - Результаты измерения

Размер, мм	$D = 8$	$L = 16$	$L = 30$	$L = 40$	$\alpha = 30^\circ$
<b>1</b>	7,92	15,93	30,09	40,22	29,05
	7,85	15,80	30,15	40,20	
	7,75	15,71	30,23	40,18	
	7,89	15,94	30,21	40,21	
<b>2</b>	7,85	15,95	30,14	40,24	28,983
	7,83	15,96	30,22	40,26	
	7,85	16,04	30,30	40,23	
	7,91	15,95	30,12	40,25	
<b>3</b>	7,96	15,81	30,05	40,22	29,533
	7,95	16,00	30,24	40,15	
	7,84	15,88	30,18	40,19	
	7,79	15,87	30,16	40,22	
<b>4</b>	7,98	15,70	30,22	40,25	28,63
	8,01	15,85	30,09	40,22	
	7,93	15,84	30,17	40,29	
	7,88	15,80	30,25	40,20	





Рисунок 3.4.1 - Результат печати после коррекции

При получении напечатанных детали повторяем выполнение анализа статистических погрешностей обработки 3D-принтером для того, чтобы узнать на сколько улучшилась точность работы трехмерного принтера после корректировки.



Таблица 3.4.2 - Статистические описания для каждого размера

Размер, мм	$D = 8$	$L = 16$	$L = 30$	$L = 40$	$\alpha = 30^\circ$
Действительное среднее значение, мм	7,89	15,88	30,17	40,22	29,08
Стандартное отклонение $\sigma$ , мм	0,07	0,1	0,07	0,03	-
Эксцесс	-0,41	-0,55	-0,53	0,59	-
Асимметричность	-0,1	-0,28	-0,15	-0,03	-
Размах выборки R, мм	0,26	0,34	0,25	0,14	0,93
Действительное минимальное значение, мм	7,75	15,7	30,05	40,15	28,63
Действительное максимальное значение, мм	8,01	16,04	30,3	40,29	29,533
Доверительный интервал при ( $\alpha = 95\%$ ), мм	0,07	0,098	0,068	0,034	-

Таблица 3.4.3 - Проверка нормальности через сравнение фактического значения эксцесса и асимметрии с критического значения

Наименование	D8	16	30	40	30°
Эксцесс	При $\alpha=0,05$ , $E_{кр.} = 0,888$				
	-0,41	-0,55	-0,53	0,59	-
	Поскольку $E_{кр.} >  E_{факт.} $ , то делаем вывод, что распределение нормально.				
Асимметричность	При $\alpha=0,05$ , $A_{кр.} = 0,84$ .				
	-0,1	-0,28	-0,15	-0,03	-
	Поскольку $A_{кр.} >  A_{факт.} $ , то делаем вывод, что распределение нормально.				

Построенные гистограммы и теоретические кривые нормального распределения для каждого размера, представлены в таблице 3.4.4.

Таблица 3.4.4 - Гистограмма и теоретическая кривая нормального для каждого размера

Размер, мм	$D = 8$	$L = 16$
График		
Размер, мм	$L = 30$	$L = 40$
График		
Обозначение	<p> <span style="color: blue;">—</span> Гистограмма  <span style="color: red;">—</span> Теоретическая кривая нормального распределения  <math>n_1</math> - Эмперическая частота  <math>n_2</math> - Теоретическая частота         </p>	
Вывод	<p>Как видно на графиках, что данные распределения близки к нормальному.</p>	

После анализ статистических погрешностей обработки 3D-принтером, посчитаем доверительные интервалы каждого размера до и после коррекции, чтобы сравним насколько точнее стал принтер. Для доверительной вероятности  $\alpha=95\%$ , соответственная математическая формула будет:

$$\bar{x} - 2 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + 2 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Результаты расчета уточнения представлены в таблице 3.4.5.

Таблица 3.4.5 - Результаты расчеты

Номинальный размер, мм	Действительный размер до коррекции, мм	Доверительный интервал ( $\alpha = 95\%$ ), мм	Действительный размер после коррекции, мм	Доверительный интервал ( $\alpha = 95\%$ ), мм	Уточнение
<b>8</b>	7,375	0,139	7,8869	0,070	В 1,99 раза
<b>16</b>	15,8094	0,116	15,769	0,098	В 1,18 раза
<b>30</b>	29,545	0,138	30,1763	0,068	В 2,03 раза
<b>40</b>	38,9475	0,100	40,2206	0,034	В 2,94 раза

Расчёты показали что, после коррекцию точность обработки трехмерного принтера увеличивала в 1,2...3 раза.

### **Заключение по разделу**

В данном исследовательском разделе были проанализированы точности размеров изготавливаемых на данном 3D-принтере заготовок по кривым распределения; выполнена коррекция точности данного принтера; настроены кривые нормального распределения; рассчитан доверительный интервал для каждого размера.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ  
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4АМ91	Хань Цзэли

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение Школа</b>	<b>Материаловедение</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01Машиностроение

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

**Перечень графического материала**

1. Оценка конкурентоспособности ИР
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	01.02.2021
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		08.02.21

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4АМ91	Хань Цзэли		08.02.21

## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.**

### **Введение**

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской работы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью НИР является модернизация конструкции малогабаритного 3D-принтера, на основе кинематики «Ultimaker Original».

### **4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.**

#### **4.1.1 Анализ конкурентных технических решений.**

В ходе исследования были рассмотрены две конкурирующие работы:

- 1) Разработка конструкция 3D-принтера;
- 2) Проектирование и сборка 3D-принтера, автоматизации этапов 3D-печати.

Таблица 4.1.1.1 – Сравнение конкурентных технических решений (исследовательских работ)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Актуальность исследования	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
2. Энергоэкономичность	0,13	5	5	3	0,65	0,65	0,39
3. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,08	5	5	3	0,4	0,4	0,24
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,07	4	4	3	0,28	0,28	0,21
5. Надёжность	0,12	4	4	5	0,48	0,48	0,6
6. Эффективность работы	0,11	5	5	4	0,55	0,55	0,44
7. Безопасность	0,09	5	5	4	0,45	0,45	0,36
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Цена на расходы	0,12	5	4	3	0,6	0,48	0,36
2. Конкурентоспособность исследовательской работы	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
3. Финансирование научного исследования	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>47</b>	<b>42</b>	<b>37</b>	<b>4,71</b>	<b>4,21</b>	<b>3,72</b>

Расчет конкурентоспособности, на примере актуальность исследования второго конкурента, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \times B_i \quad (4.1)$$

Где К – конкурентоспособность проекта;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл показателя;

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

#### 4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 4.1.2.1:

Таблица 4.1.2.1 – Матрица SWOT-анализа

<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
С1. Низкая цена исходного сырья.	Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.
С2. Высокая износостойкость и ударопрочность продукции.	Сл2. Долгое время подготовки к моделированию при проведении научного исследования.
С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.	Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.
С4. Более перспективный способ изучения в данной сфере.	Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.
С5. Квалифицированный персонал.	Сл5. Вероятность получения брака.
<b>Возможности</b>	<b>Угрозы</b>
В1. Появление дополнительного спроса на полученные результаты исследования в учебной сфере.	У1. Снижение стоимости разработок конкурентов.
В2. Появление потенциального спроса на новые разработки в дальнейшие технологии машиностроения.	У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.
В3. Внедрение технологии в аэрокосмической области.	У3. Развитая конкуренция технологий производства.
В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.	У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства
В5. Привлечение других информационных технологий для решения вопросов машиностроения.	

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта,

а также надёжность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.1.2.2–4.1.2.5:

Таблица 4.1.2.2 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	-	-	-	-
	B2	-	-	+	-	-
	B3	-	+	-	-	-
	B4	+	+	-	-	-
	B5	-	-	+	+	-

Таблица 4.1.2.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	+	+	-	+
	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-	-
	B5	-	-	-	-	-

Таблица 4.1.2.4 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	Y1	-	+	-	+	-
	Y2	-	+	-	-	-
	Y3	+	-	+	-	-
	Y4	-	+	-	-	-
	Y5	-	-	-	-	+

Таблица 4.1.2.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	Y1	-	-	-	+	+
	Y2	-	-	+	+	+
	Y3	-	-	-	-	-
	Y4	-	-	+	+	+
	Y5	-	-	-	-	-

Результаты анализа представлены в итоговой таблице 4.1.2.6.



Таблица 4.1.2.6 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>С1. Низкая цена исходного сырья.  С2. Высокая износостойкость и ударопрочность продукции.  С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.  С4. Более перспективный способ изучения в данной сфере.  С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.  Сл2. Долгое время подготовки к моделированию при проведении научного исследования.  Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.  Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.  Сл5. Вероятность получения брака.</p>
<p><b>Возможности</b></p> <p>В1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ  В2. Появление потенциального спроса на новые разработки в дальнейшие технологии машиностроения.  В3. Внедрение технологии в аэрокосмической области.  В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.  В5. Привлечение других информационных технологий для решения вопросов машиностроения.</p>	<p><b>Направления развития</b></p> <p>В2С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта, что соответствует дополнительному спросу на полученные результаты исследования в учебной сфере.  В3С2. Высокая износостойкость и ударопрочность продукции являются хорошим основанием для внедрения технологии в аэрокосмической области.  В4С1С2. Низкая цена исходного сырья и высокая износостойкость и ударопрочность продукции являются основой для экспорта за рубеж и выхода на мировой рынок.  В5С3С4. Более свежая информация и перспективный способ изучения в данной сфере соответствуют привлечение других информационных технологий для решения вопросов машиностроения.</p>	<p><b>Сдерживающие факторы</b></p> <p>В1Сл2Сл3Сл5.  Использование новейшего оборудования для удовлетворения требований исследований, также может уменьшить экспериментальную ошибку и предотвратить появление брака.</p>
<p><b>Угрозы</b></p> <p>У1. Снижение стоимости разработок конкурентов.</p>	<p><b>Угрозы развития</b></p> <p>У1С4. Несмотря на отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях, наши исследования</p>	<p><b>Уязвимости:</b></p> <p>У1Сл4Сл5. Введение систем совершенствования производственных процессов для снижения погрешности и</p>

У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок. У3. Развитая конкуренция технологий производства. У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства	обладают высокой перспективностью в данной сфере. У1С2. Несмотря на снижение стоимости разработок конкурентов, наши продукты имеют лучшие механические свойства, больше перспектив развития. У2С2. Наши продукты обладают лучшими механическими свойствами, являются более привлекательными мировом рынке. У3С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта, что дают возможность борьбы с развитой конкуренцией технологий производства.	неопределенности. У2У4Сл3Сл4Сл5. В связи с несвоевременном финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства, экспериментальное оборудование не обеспечено, привести к тому, что эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности и большая вероятность получения брака, поэтому появятся зарубежные аналоги и более ранний их выходят на рынок.
---	---	--

В результате SWOT-анализа показано, что на преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками. Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований;

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 4.2.1.1:

Таблица 4.2.1.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка темы диссертации	1	Составление и утверждение темя диссертации, утверждение плана-графика.	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения диссертации.	Инженер, Научный руководитель
Теоретические исследования	3	Изучение литературы по 3Д принтере	Инженер
	4	Обзор научной литературы	Инженер
Экспериментальные исследования	5	Разработка конструкторской документации для модернизированного модуля перемещения 3D-принтера;	Инженер
	6	Изготовление деталей(корпус; радиатор; кронштейн; направляющая втулка)	Инженер, Научный руководитель
	7	Собранный 3D-принтер, печать тестовых образцов и измерение размеров	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных.	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов.	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки.	Инженер

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения.

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (4.2)$$

Где  $t_{ожи}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой

работы, человеко-дни;

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой  $i$ -ой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i} \quad (4.3)$$

Где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожи}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел;

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k \quad (4.4)$$

Где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{праз}}} = \frac{365}{365 - 89 - 29} = 1,48 \quad (4.5)$$

Где  $T_{\text{кал}}$  – общее количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – общее количество выходных дней в году;

$T_{\text{праз}}$  – общее количество праздничных дней в году;

Расчеты временных показателей проведения научного исследования представляются в таблице 4.2.2.1:











Таблица 4.2.2.1 – Временные показатели проведения научного исследования



Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{Pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{mini}$ , чел-дни		$t_{maxi}$ , чел-дни		$t_{ожи}$ , чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение темя диссертации, утверждение плана-графика.	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения диссертации.	1	2	2	3	1,4	2,4	2,4	4
3. Изучение литературы по 3Д принтере	-	45	-	55	-	49	49	73
4. Обзор научной литературы	-	6	-	10	-	7,6	7,6	12
5. Разработка конструкторской документации для модернизированного модуля перемещения 3D-принтера;	-	16	-	20	-	17,6	17,6	26
6. Изготовление деталей (корпус; радиатор; кронштейн; направляющая втулка)	10	10	20	25	14	16	16	24
7. Собранный 3D-принтер, печать тестовых образцов и измерение размеров	15	15	20	20	17	17	17	25
8. Обработка полученных данных.	-	10	-	15	-	12	12	18
9. Оценка правильности полученных результатов.	3	8	5	10	3,8	8,8	8,8	13
10. Составление пояснительной записки.	-	15	-	20	-	17	17	25
Итого:	31	127	51	178	39	147,4	150,2	224

**Примечание:** Исп.1 – научный руководитель; Исп.2 – инженер;

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 4.2.2.2).

Таблица 4.2.2.2 – Диаграмма Ганта

№	Виды работ	Исп	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность работ							
				Мар.	Апр.	Май	Июн.	Июл.	Авг.	Сен.	Октя.
				3	4	5	6	7	8	9	10
1	Составление и утверждение темы диссертации, утверждение плана-графика.	Исп1	4								
2	Календарное планирование выполнения диссертации.	Исп1 Исп2	3								
3	3. Изучение литературы по 3D принтере	Исп2	73								
4	4. Обзор научной литературы	Исп2	12								
5	Разработка конструкторской документации для модернизированного модуля перемещения 3D-принтера;	Исп2	26								
6	6. Изготовление деталей (корпус; радиатор; кронштейн; направляющая втулка)	Исп1 Исп2	23								
7	7. Собранный 3D-принтер, печать тестовых образцов и измерение размеров	Исп1 Исп2	25								
8	Обработка полученных данных.	Исп2	18								
9	Оценка правильности полученных результатов.	Исп1 Исп2	9								
10	Составление пояснительной записки.	Исп2	25								

Примечание:  – Исп. 1 (научный руководитель);  – Исп. 2 (инженер);

### 4.3 Бюджет научно-технического исследования.

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;

- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

#### **4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования.**

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при исследовании. Результаты расчета затрат представлены в таблице 4.3.1.1.

Таблица 4.3.1.1 – Материальные затраты

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Термобарьер для экструдера	Шт.	1	150	150
Термистор для 3D-принтера	Шт.	2	20	40
Линейный подшипник	Шт.	2	180	360
Скотч Kapton Tape	Шт.	1	350	350
PLA пластик	Шт.	1	1100	1100
Контроллер Mega 2560	Шт.	1	2500	2500
A4988 Драйвер шагового двигателя	Шт.	8	150	1200
RAMPS 1.4	Шт.	1	500	500
FULL GRAPHIC Smart Controller LCD Экран 12864	Шт.	1	1100	1100
Перчатки резиновые, технические	пар	1	50	50
<b>Итого:</b>				7350

#### **4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования**

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:



$$H_A = \frac{1}{n} \quad (4.6)$$

Где  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \times m \quad (4.7)$$

Где  $I$  – итоговая сумма, тыс. руб.;  $m$  – время использования, мес.

Таблица 4.3.2.1 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	$H_A, \%$	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Токарно-винторезный станок Emco Emcomat 14D	1	15	0,07	7	4820000	1968
2	Фрезерный станок с ЧПУ Emco PC MILL 155	1	20	0,07	5	20000000	5800
<b>Итого:</b>		7768 руб.					

### 4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада. Основная заработная плата одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \times T_p \quad (4.8)$$

Где  $Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дней. (по таблице 4.2.2.1. для инженера:  $T_{p2} = 148$  дней, для руководителя:  $T_{p1} = 39$  дней).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 4.9:

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \times М}{F_{д}} \quad (4.9)$$

Где  $З_{м}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$F_{д}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. Дней (в данном случае  $F_{д} = 247$  дней);

$М$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 28 раб. дня –  $М = 11,2$  месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 56 раб. дней –  $М = 10,3$  месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Должностной оклад работника за месяц определяется по формуле 4.10:

$$З_{м} = З_{мс} \times (1 + k_{пр} + k_{д}) \times k_{р} \quad (4.10)$$

Где  $З_{мс}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб (для руководителя

$З_{мс1} = 28600$  руб, а для инженера  $З_{мс2} = 11280$  руб.);

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;

$k_{д}$  – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;

$k_{р}$  – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томск);

По формуле 4.10 определяется должностной оклад руководителя за месяц:

$$З_{м1} = З_{мс1} \times (1 + k_{пр} + k_{д}) \times k_{р} = 28600 \times (1 + 0,3 + 0,2) \times 1,3 = 55770 \text{ руб}$$

По формуле 4,10 определяется должностной оклад инженера за месяц:

$$З_{м2} = З_{мс2} \times (1 + k_{пр} + k_{д}) \times k_{р} = 11280 \times (1 + 0,3 + 0,2) \times 1,3 = 21996 \text{ руб}$$

Среднедневная заработная плата у руководителя рассчитывается по формуле 4.9:

$$З_{дн1} = \frac{З_{м} \times М}{F_{д}} = \frac{55770 \times 10,3}{247} = 2325,63 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата у инженера рассчитывается по формуле 4.9:

$$З_{дн2} = \frac{З_{м} \times М}{F_{д}} = \frac{21996 \times 11,2}{247} = 997,40 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле 4.8:

$$З_{осн1} = З_{дн1} \times T_{p1} = 2325,63 \times 39 = 90699,57 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата инженера рассчитывается по формуле 4.8:

$$З_{осн2} = З_{дн2} \times T_{p2} = 997,40 \times 148 = 147615,2 \text{ руб.}$$

Таким образом, затраты на общую основную заработную плату составляют:

$$З_{осн \text{ обще}} = З_{осн1} + З_{осн2} = 90699,57 + 147615,2 = 238314,77 \text{ руб.}$$

Перечисленные информации представляются в таблице 4.3.3.1.

Таблица 4.3.3.1 – Расчеты основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$З_{мс}$ , руб	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$З_m$ , руб	$З_{дн}$ , руб	$T_p$ , дн	$З_{осн}$ , руб.
Руководитель	28600	0,3	0,2	1,3	55770	2325,36	39	90699,57
Инженер	11280	0,3	0,2	1,3	21996	997,40	148	147615,2
Итого:								238314,77

#### 4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата определяется по формуле 4.11:

$$З_{доп} = k_{доп} \times З_{осн} \quad (4.11)$$

Где  $З_{доп}$  – дополнительная заработная плата;

$З_{осн}$  – основная заработная плата;

$k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15);

По формуле 4.11 определяется дополнительная заработная плата для руководителя:

$$З_{доп1} = k_{доп} \times З_{осн} = 0,15 \times 90699,57 = 13604,94 \text{ руб}$$

По формуле 4.11 определяется дополнительная заработная плата для инженера:

$$З_{доп2} = k_{доп} \times З_{осн} = 0,15 \times 147615,2 = 22142,28 \text{ руб}$$

Таким образом, общая дополнительная заработная плата составляет:

$$З_{\text{доп общ}} = З_{\text{доп1}} + З_{\text{доп2}} = 13604,94 + 22142,28 = 35747,22 \text{ руб.}$$

#### 4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по формуле 4.12:

$$З_{\text{внеб1}} = k_{\text{внеб}} \times (З_{\text{осн1}} + З_{\text{доп1}}) \quad (4.12)$$

Где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2021 году –30% (ст. 425 НК РФ).

Отчисления во внебюджетные фонды для руководителя определяются по формуле 4.12:

$$З_{\text{внеб1}} = k_{\text{внеб}} \times (З_{\text{осн1}} + З_{\text{доп1}}) = 0,3 \times (90699,57 + 13604,94) = 31291,35 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера определяются по формуле 4.12:

$$З_{\text{внеб2}} = k_{\text{внеб}} \times (З_{\text{осн2}} + З_{\text{доп2}}) = 0,3 \times (147615,2 + 22142,3) = 50927,24 \text{ руб.}$$

Таким образом, общие затраты на составляется отчисления во внебюджетные фонды:

$$З_{\text{внеб общ}} = З_{\text{внеб1}} + З_{\text{внеб2}} = 31291,35 + 50927,24 = 82218,59 \text{ руб.}$$

#### 4.3.6 Накладные расходы.

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и т.д.

Величина накладных расходов определяется по формуле 4.13:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) k_{\text{нр}} \quad (4.13)$$

Где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

#### 4.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Группировка затрат по статьям представляется в таблице 4.3.7.1:

Таблица 4.3.7.1 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
1	2	3	4	5	6	7	8
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Стоимость бюджета
7768	7350	238314,77	35747,22	82218,59	371398,58	59423,77	430822,35

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ «модернизация конструкции малогабаритного 3D-принтера» по форме, приведенной в таблице 4.3.7.2. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 4.3.7.2 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.		
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3
1	Материальные затраты НИР	7350	11000	4800
2	Затраты на специальное оборудование	7768	9000	24712
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	238314,77	350216,2	303101,22
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	35747,22	52532,43	45465,18
5	Отчисления во внебюджетные фонды	82218,59	120824,59	104569,92
6	Накладные расходы	59415,77	86971,72	62166,13
Бюджет затрат НИР		430822,35	630544,94	450704,45

Где: Исп.2 – Аналог 1, Исп.3- Аналог 2;

#### 4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

- 1) Разработка конструкция 3D-принтера;
- 2) Проектирование и сборка 3D-принтера, автоматизации этапов 3D-печати.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается по формуле 4.14:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}} \quad 4.14$$

Где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{ri}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения из всех вариантов;

По перечисленным вычислениям определяются общие затраты для всех вариантов:

$$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 430822,35 \text{ руб,}$$

$$\Phi_{\text{исп.2}} = 630544,94 \text{ руб}$$

$$\Phi_{\text{исп.3}} = 450704,45 \text{ руб,}$$

$$\Phi_{\text{max}} = \Phi_{\text{исп.2}} = 630544,94 \text{ руб}$$

По формуле 4.14 определяется интегральный финансовый показатель для текущего проекта:

$$I_{\text{финр}}^{\text{текущ.проект}} = \frac{\Phi_{\text{текущ.проект}}}{\Phi_{\text{мах}}} = \frac{430822,35}{630544,94} = 0,68$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{мах}}} = \frac{630544,94}{630544,94} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{мах}}} = \frac{450704,45}{630544,94} = 0,71$$

В результате расчетов интегральных финансовых показателей по трем вариантам разработки текущий проект с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральные показатели ресурсоэффективности всех вариантов определяются путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.4.1).

Таблица 4.4.1 – Сравнительная оценка характеристик всех вариантов

<b>Объекты исследования</b> <b>Критерии</b>	<b>Весовой коэффициент параметра</b>	<b>Текущий проект</b>	<b>Исп.2</b>	<b>Исп.3</b>
1. Безопасность при использовании установки	0,2	5	4	4
2. Стабильность работы	0,2	4	3	5
3. Технические характеристики	0,2	5	4	4
4. Механические свойства	0,25	5	4	3
5. Материалоёмкость	0,15	5	5	5
<b>ИТОГО</b>	<b>1</b>	<b>4,8</b>	<b>3,95</b>	<b>4,1</b>

По данным из таблицы 4.4.1 определяется интегральный показатели ресурсоэффективности для текущего проекта:

$$I_p^{\text{текущ.проект}} = 0,2 \times 5 + 0,2 \times 4 + 0,2 \times 5 + 0,25 \times 5 + 0,15 \times 5 = 4,8$$

По данным из таблицы 4.4.1 определяется интегральный показатели ресурсоэффективности для второго конкурентного проекта:

$$I_p^{\text{исп.1}} = 0,2 \times 4 + 0,2 \times 3 + 0,2 \times 4 + 0,25 \times 4 + 0,15 \times 5 = 3,95$$

По данным из таблицы 4.4.1 определяется интегральный показатели ресурсоэффективности для третьего конкурентного проекта:



$$I_p^{\text{исп.2}} = 0,2 \times 4 + 0,2 \times 5 + 0,2 \times 4 + 0,25 \times 3 + 0,15 \times 5 = 4,1$$

В результате расчетов интегральных показателей ресурсоэффективности по трем вариантам разработки текущий проект с большим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения ресурсной эффективности.

**Интегральные показатели эффективности всех вариантов** вычисляются на основании показателей ресурсоэффективности и интегральных финансовых показателей по формуле 4.15:

$$I_{\text{эф.}i} = \frac{I_p^{\text{исп.}i}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}} \quad (4.15)$$

Где  $I_{\text{эф.}i}$  – интегральный показатель эффективности  $i$ -ого варианта разработки;

$I_p^{\text{исп.}i}$  – интегральный показатель ресурсной эффективности  $i$ -ого варианта разработки;

$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель  $i$ -ого варианта разработки;

По формуле 4.15 определяется интегральный показатель эффективности для текущего проекта:

$$I_{\text{эф.текущ.проект}} = \frac{I_p^{\text{текущ.проект}}}{I_{\text{финр}}^{\text{текущ.проект}}} = \frac{4,8}{0,68} = 7,06$$

По формуле 4.15 определяется интегральный показатель эффективности для второго конкурентного проекта:

$$I_{\text{эф.исп.2}} = \frac{I_p^{\text{исп.2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}}} = \frac{3,95}{1} = 3,95$$

По формуле 4.15 определяется интегральный показатель эффективности для третьего конкурентного проекта:

$$I_{\text{эф.исп.3}} = \frac{I_p^{\text{исп.3}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}}} = \frac{4,1}{0,71} = 5,77$$

Далее среднее значение интегрального показателя эффективности каждого варианта НИР сравнивалось с средним значением интегрального показателя

эффективности текущего проекта с целью определения сравнительной эффективности проектов (таблица 4.4.2).

Таблица 4.4.2 – Сравнительные эффективности разработок

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,68	1	0,71
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,8	3,95	4,1
3	Интегральный показатель эффективности	7,06	3,95	5,77
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,56	0,82

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансовым и ресурсным эффективным вариантом является текущий проект. Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

#### **Выводы по разделу:**

Вывод №1: результат анализа конкурентных технических решений заключается в том, что текущий проект является самым конкурентоспособным вариантом по сравнению с аналогами.

Вывод №2: в процессе планирования для руководителя и инженера построен график реализации данного этапа работ, который способствует оценке и планированию рабочих времени исполнителей. Общие количества дней для выполнения работ составляет 224 дней. Общие количества дней, в течение которых работал инженер, составляет 218 дней. Общие количества дней, в течение которых работал руководитель, составляет 58 дней.

Вывод №3: для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, значение которого составляет 430822,35 рублей. (требуемый затраты текущего проекта значительно меньше других конкурентных вариантов).

Вывод №4: Результаты оценки эффективности текущего проекта представляются ниже:

- 1) Значение интегрального финансового показателя текущего

проекта составляет 0,68, которое показано, что текущий проект является более выгодным по сравнению с другими вариантами;

2) Значение интегрального показателя ресурсной эффективности текущего проекта составляет 4,8, по сравнению с 3,95 (второго конкурента) и 4,1 (третьего конкурента);

3) Значение интегрального показателя эффективности текущего проекта составляет 7,06, по сравнению с 3,95 (второго конкурента) и 5,77 (третьего конкурента), которое является наиболее высоким из всех вариантов. Это показано, что текущий проект является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ91	Хань Цзэли

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01Машиностроение

Тема ВКР:

Модернизация конструкции малогабаритного 3D-принтера	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования: малогабаритный 3D-принтер</p> <p>Область применения: малое предприятие машиностроительной отрасли</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</li> <li>– ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.</li> <li>– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021)</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<p>Вредные факторы и опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; повышенный уровень шума; Повышенный уровень вибраций</li> <li>– движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования</li> <li>– электрический ток;</li> <li>– отлетающие кусочки металла, абразивного материала;</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– влияние деятельности на литосферу, атмосферу и гидросферу: токсичные выбросы, разлагающийся мусор.</li> <li>– способы утилизации отходов</li> </ul>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– перечислить возможные ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– пожар в здании</li> </ul>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
01.03.2021	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Хань Цзэли		20.03.2021

## **5 Социальная ответственность**

### **Введение**

Данный раздел дипломной работы посвящен анализу и разработке мер по обеспечению благоприятных и безопасных для творческой работы инженера-технолога условий труда. Здесь рассмотрены вопросы производственной безопасности, эргономики, пожарной безопасности и охраны окружающей среды.

Большая часть экспериментов проводилась в 16А корпусе ТПУ, в аудитории № 101(а) и 219, а также для создания 3D модели был использован ПК.

В данной работы были выполнены конструкторские документации для модернизированного модуля перемещения 3D-принтера; разработаны управляющие программы для станков с числовым программным управлением (корпус; радиатор; кронштейн; направляющая втулка); изготовлены детали(корпус; радиатор; кронштейн; направляющая втулка); Собран узел модуля перемещения 3D-принтера; напечатаны детали для эксперимента с помощью собранном 3D-принтера.

В ходе проведения эксперимента неизбежно будут возникать факторы, вредные для человеческого организма, такие как вибрация токарного станка, шум во время обработки и опасность химических веществ (СОЖ) и т.д.

Вопросы производственной и экологической безопасности рассматриваются с позиции исполнителя (оператор станка), связанного непосредственно с изготовлением заготовки для изучения.

## **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Для рабочих должны проводиться мероприятия по вопросам обеспечения безопасного труда. В систему таких мероприятий должны входить:

- Постоянное совершенствование технологических процессов и оборудования с целью устранить и предотвратить возможность появления производственных вредностей;
- Переход от ручной работы к механизированной;
- Безусловное соблюдение технологических режимов, строгий контроль за их исполнением;
- Знание и соблюдение техники безопасности;
- Безусловное соблюдение режимов труда и отдыха, правильная организация рабочего места;
- Постоянный контроль за состоянием воздушной среды производственных помещений (соблюдение норм предельно допустимого количества абразива в воздухе и паров химических веществ);
- Регулярные медицинские осмотры;
- Соблюдение требований безопасности труда к освещенности помещения, отоплению, вентиляции (система вытяжной вентиляции), кондиционированию воздуха;
- Соблюдение норм допустимой концентрации вредных веществ в воздухе;
- Доступ к системе водоснабжения, санузлу;
- Регламентированные перерывы в работе на обед и на отдых;
- Оборудованное помещение для отдыха работников, оснащенное необходимой мебелью (стулья, кресла, столы, холодильник, микроволновая печь, электрический чайник);
- Доступ к питьевой воде.

## 5.2 Производственная безопасность

### 5.2.1 Анализ вредных факторов производственной среды

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при разработке или эксплуатации проектируемого решения. Для идентификации потенциальных факторов использован ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлены в виде таблицы.5.2.1.1.

Таблица 5.2.1.1 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо	Изготов	Эксплуа	
1.Отклонение показателей микроклимата;	+	+	+	ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68- ФЗ. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (с изменениями и дополнениями).
2. Превышение уровня шума;		+	+	
3. Повышенный уровень вибраций;	+	+	+	
4.Отсутствие или недостаток естественного света;	+	+	+	
5. Недостаточная освещенность рабочей зоны;		+	+	
6. Эмоциональные нагрузки;	+	+	+	
7. Анализ электробезопасности	+	+	+	
8.Повышенные температуры материалов;	+	+	+	



### 5.2.2 Анализ показателей микроклимата

Состояние микроклимата на механическом участке должна соответствовать допустимым нормам по ГОСТ 12.1.005-88. Метеорологические условия в производственных условиях определяются следующими параметрами:

- температура воздуха  $t$ , °C;
- относительная влажность воздуха  $\phi$ , %;
- скорость движения воздуха на рабочем месте  $v$ , м/с.

Движение воздуха в помещениях – это важный фактор, влияющий на тепловое самочувствие человека. Движение воздуха оказывает различное действие на организм в тёплый и холодный период года. Так, в жарком помещении оно улучшает состояние организма, так как способствует увеличению отдачи теплоты, но при низкой температуре оказывает неблагоприятное воздействие. Можно сделать вывод, что для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, относящаяся к инженерам к операторам, относится к категории средних работ, 2б – работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением. Допустимые значения микроклимата для этого случая даны в таблице 5.2.2.1.

Таблица 5.2.2.1 – Результаты замеров микроклимата

Период года	Категория работ	Температура, С°		Влажность, %		Скорость воздуха, м/с	
		Фактич.	Допуст.	Фактич.	Допуст.	Фактич.	Допуст.
Теплый	2б	21	18-27	62	65	0,16	0,2
Холодный	2б	18	17-23	53	<75	0,1	0,2

Для обеспечения комфортных условий используются как

организационные методы (рациональная организация проведения работ в зависимости от времени года и суток, чередование труда и отдыха), так и технические средства: в холодный период года – применение водяного отопления; в теплый период года – искусственная вентиляция, изоляция нагретых поверхностей оборудования.

### **5.2.3 Анализ показателей шума**

В рабочем помещении должны соблюдаться нормы уровня шума согласно СН2.2.4/2.1.8.562-96.

Источником шума в рассматриваемом рабочем пространстве является токарный обрабатывающий центр, а также пневмопистолет для подачи воздуха под давлением.

Нормальным уровнем шума при работе в помещении считается 60 дБА. Под воздействием шума, превышающего 85-90 дБА, снижается слуховая чувствительность. Сильный шум вредно отражается на здоровье и работоспособности людей. Человек, работая при шуме, привыкает к нему, но продолжительное действие сильного шума вызывает общее утомление, может привести к ухудшению слуха. Для снижения шума можно использовать следующие методы:

- уменьшение шума в станке- Применение вязкой смазки;
- установка в помещении звукопоглощающих экранов;
- Применение шумозаглушающего кожуха;
- Ликвидация погрешностей в зацеплении шестерен;

При выполнении работы оператор токарного станка использует наушник с шумоподавлением.

### **5.2.4 Анализ уровня вибраций**

В процессе обработки деталей, если режущий инструмент выставлен неправильно, а также если станок не имеет крепкого фундамента под собой, или не установлен на виброопорах, могут возникать вибрации.

Основная цель нормирования вибрации на рабочих местах — это установление допустимых значений характеристик вибрации, которые при ежедневном систематическом воздействии в течение всего рабочего дня и многих лет не могут вызвать существенных заболеваний организма человека и не мешают его нормальной трудовой деятельности.

Основным документом, регламентирующим уровень вибрации на рабочих местах, является СН 2.2.4/2.1.8.566-96 “Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий”. В этом документе приведены предельно допустимые значения колебательной скорости, колебательного ускорения и их уровней в октавных и треть октавных полосах частот для локальной и общей вибрации в зависимости от источника возникновения, направления действия.

Коллективные виды средств защиты от вибрации считаются предпочтительными, в то время как средства индивидуальной защиты применяются в качестве вспомогательных. К ним относятся: виброзащитные обувь, перчатки со специальными упруго-демпфирующими элементами, поглощающими вибрацию.

### **5.2.5 Анализ освещенности рабочей зоны**

Искусственное освещение должно обеспечивать в помещении освещенность, позволяющую выполнять операции, наладку оборудования без производственных дефектов и травматизма, возникающих по причине недостаточной освещенности. Недостаточная освещенность является вредным фактором при выполнении исследовательских работ, требующих особую точность. При работе в таких условиях сначала происходит перенапряжение глаз, которое впоследствии может вызвать ухудшение зрения. В этом случае требуется привлечение дополнительных источников света, в частности настольных ламп.

В цеху, помимо искусственных источников света, установлены большие окна по всему периметру помещения.

Нормы освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях устанавливают в зависимости от характеристики зрительной работы.

Таблица 5.2.5.1

Разряды работы	Характер работ, выполняемых в помещении		Нормы к.е.о. в %	
	виды работ, по степени точности	Размер объекта мм	при верхнем и комбинированном освещении	при боковом освещении
1	2	3	4	5
I	Особо точные работы	0,1 и менее	10	3,5
II	Работы высокой точности	Более 0,1 до 0,3	7	2
III	Точные работы	Более 0,3 до 1	5	1,5
IV	Работы малой точности	Более 1 до 10	3	1
V	Грубые работы	Более 10	2	0,5
VI	Работы, требующие общего наблюдения за ходом производственного процесса	-	1	0,25

Для вечернего освещения, помимо потолочных ламп, рабочее место должно быть оборудовано дополнительным источником света. В вечернее время в цехах обязательно общее искусственное рабочее освещение, причем расположение светильников должно быть равномерным. Недостаточная освещенность рабочего места не только уменьшает остроту зрения, но и вызывает утомление организма в целом, что приводит к снижению производительности труда и увеличению опасности заболеваний человека.

Поэтому с целью обеспечения требуемых норм освещенности необходимо произвести расчет искусственной освещенности. Для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности основным является метод светового потока (коэффициента использования), учитывающий световой поток, отраженный от потолка и стен. При работе с персональным компьютером в сочетании с работой с нормативной и технической документацией согласно нормам СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения  $A = 10$  м, ширина  $B = 8$  м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом  $h_p = 1,0$  м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 300 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:  $S = A \times B$ , где  $A$  – длина, м;  $B$  – ширина, м.

$$S = 10 \times 8 = 80 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения покрашенных светло-зеленых стен с окнами, без штор  $\rho_c = 40\%$ , свежепобеленного потолка  $\rho_{\text{п}} = 70\%$ . Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен  $K_3 = 1,2$ . Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $Z = 1,1$ . Выбираем лампу дневного света ЛТБ-40, световой поток которой равен ФЛД = 3000 Лм. Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР –2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1200 мм, ширина – 260 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников

является величина  $\lambda$ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем  $\lambda=1,2$ , расстояние светильников от перекрытия (свес)  $h_c = 0,5$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c$$

где  $H$  – высота светильника над полом, высота подвеса,  $h_p$  – высота рабочей поверхности над полом. Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР:  $H = 3,5$  м. Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2 \text{ м}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$N_a = \frac{B}{L} = \frac{8}{2,4} = 3,3 \approx 3$$

Число светильников в ряду:

$$N_a = \frac{A}{L} = \frac{10}{2,4} = 4,16 \approx 4$$

Общее число светильников:

$$N = N_a \times N_a = 4 \times 3 = 12$$

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \times B}{h \times (A + B)} = \frac{10 \times 8}{2 \times (10 + 8)} = 2,22$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОД с люминесцентными лампами при  $\lambda_{\text{П}} = 70\%$ ,  $\lambda_{\text{С}} = 40\%$

и индексе помещения  $i = 2,22$  равен  $\eta = 0,52$ . Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_p = \frac{E \times A \times B \times K_3 \times Z}{N \times \eta} = \frac{150 \times 10 \times 8 \times 1,2 \times 1,1}{12 \times 0,52} = 2538 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} 100\% \leq 20\%$$

$$\frac{2600 - 2538}{2600} \times 100 = 2,38\% \approx 2\%$$

$$-10\% \leq 2\% \leq 20\%$$

Таким образом, условие выполнено.

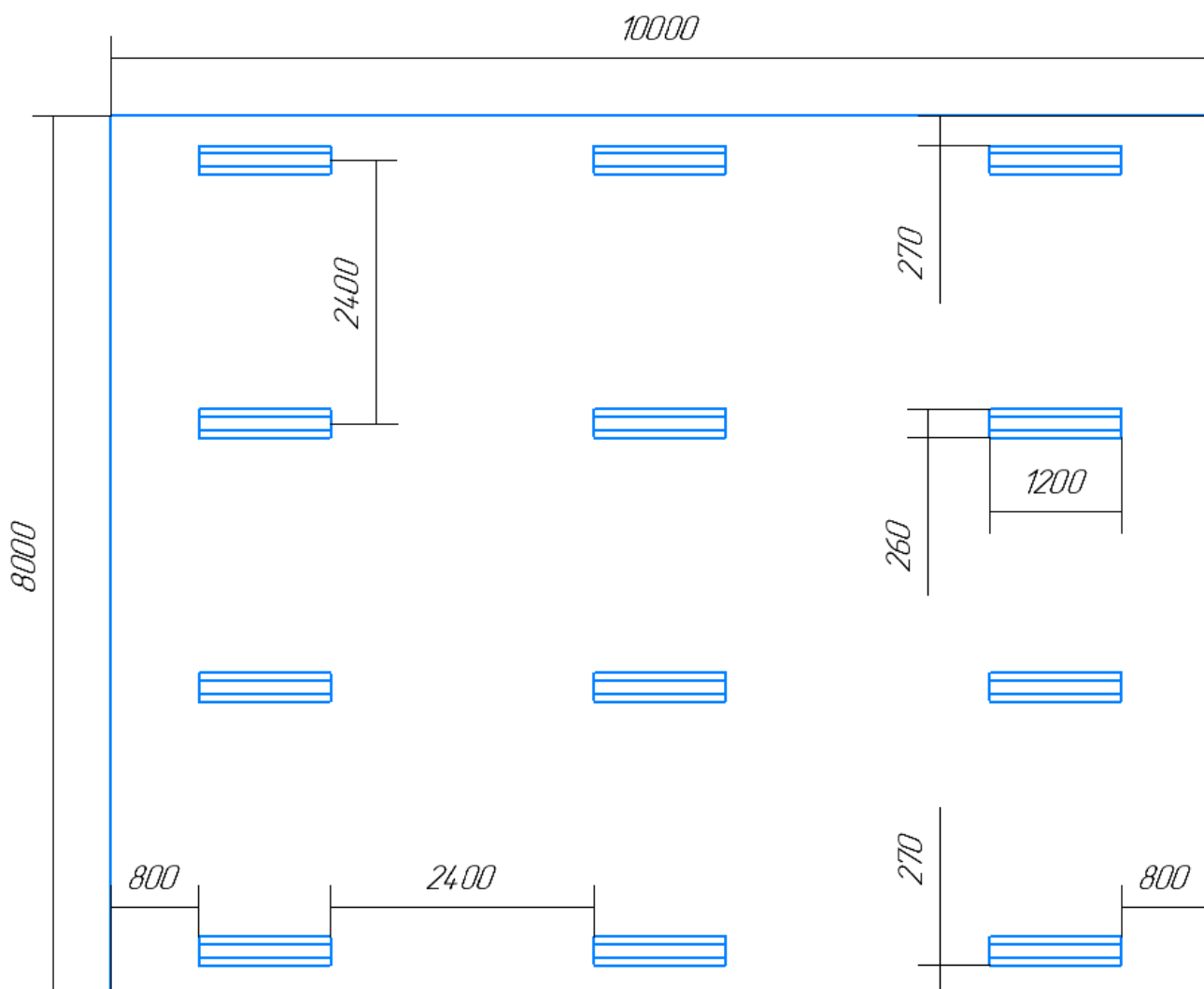


Рисунок 5.2.5.1 - План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами



### **5.2.6 Анализ эмоциональных нагрузок**

Эмоциональные нагрузки определяются тремя параметрами:

- степенью ответственности за результат собственной деятельности;
- степенью риска для собственной жизни;
- ответственностью за безопасность других лиц.

Практика аттестации рабочих мест показывает, что оценка всех трех параметров происходит в соответствии с профессией без каких-либо дополнительных измерений, что в данном случае является наилучшим выбором, чем проведение крайне субъективных оценок непрофильными специалистами. Проблема эмоциональных нагрузок не может исчерпываться тремя показателями и требует профессиональных методик оценки, которые должны разрабатываться специалистами в области социальной психологии, психологии труда, психологии мотивации и эмоций и т.д., а не гигиенистами, как это было сделано при разработке гигиенических критериев.

Степень ответственности за результат собственной деятельности, значимость ошибки указывает, в какой мере работник может влиять на результат собственного труда при различных уровнях сложности осуществляемой деятельности. С возрастанием сложности повышается степень ответственности, поскольку ошибочные действия приводят к дополнительным усилиям со стороны работника или целого коллектива, что соответственно приводит к увеличению эмоционального напряжения.

### **5.2.7 Анализ электробезопасности**

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Лаборатория относится к классу электроопасности - помещению с повышенной опасностью, которая характеризуется наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость,

токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой. Токарный станок работает в сети с напряжением 380 В.

Средствами индивидуальной защиты от поражения электрическим током являются инструменты с ручками из изолирующего материала, специальные перчатки и обувь, а также дорожки и коврики.

### **5.2.8 Повышенная температура материала**

В процессе резания металла, он нагревается до высоких температур (200-600°C), большая часть тепла (50-80%) отводится стружкой, однако, при постоянном воздействии резца на заготовку, она разогревается до температур, которые при кратковременном воздействии могут причинить вред человеку (ожог).

Во избежание получения термических травм, рекомендуется использовать специальные приспособления для транспортировки только что обработанных деталей, а так же применять смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Основы безопасности и требования при работе с движущимися частями машин приводятся в ГОСТ 7599-82.

### **5.3 Экологическая безопасность**

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через как можно более полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Охрану природы можно представить как комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование ресурсов природы, а также их восстановление и улучшение природных условий.

С развитием промышленности вред, который может быть нанесён

Окружающей среде, увеличивается, поэтому задача по охране окружающей среды должна быть приоритетна для всех, без исключения, компаний.

При написании данной выпускной квалификационной работы не было использовано токсичных и радиоактивных материалов, а также материалов, подлежащих особым условиям утилизации. Однако, с целью рационализации использования природных ресурсов (металл, СОЖ), рекомендуется:

- Пакетировать стружку по маркам, сдавая её в последующем на переработку;
- Очищать СОЖ для повторного использования, с вторичным использованием отфильтрованной взвеси абразивной пыли и мелкой стружки (неответственные конструкции).

При проведении в цеху экспериментов для квалификационной работы вредных выбросов в атмосферу, почву и водные источники не производилось, чрезвычайные ситуации не наблюдались, существенных воздействий на окружающую среду не было.

#### **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайные ситуации относятся к совокупности опасных событий или явлений, приводящих к нарушению безопасности жизнедеятельности. К ним относятся: высокие и низкие температуры, физическая нагрузка, поражающие токсичные дозы сильнодействующих ядовитых веществ, высокие дозы облучения, производственные шумы и вибрации и многое другое могут приводить к нарушению жизнедеятельности человека.

Основными причинами возникновения чрезвычайных ситуаций являются, во-первых, внутренние, к которым относятся: физический и моральный износ оборудования, низкая трудовая и технологическая дисциплина, проектно-конструкторские недоработки, сложность технологий, недостаточная квалификация персонала,. Во-вторых, внешние чрезвычайные

ситуации, - это стихийные бедствия, неожиданное прекращение подачи электроэнергии, воды, технологических продуктов, терроризм, войны. Одними из наиболее вероятных и разрушительных видов ЧС являются взрыв или пожар на рабочем месте. Пожарная безопасность представляет собой единый комплекс организационных, технических, режимных и эксплуатационных мероприятий по предупреждению пожаров и взрывов.

На основании рекомендаций определяем категорию помещения по пожароопасности по ППБ – 03. В данном случае помещение относится к категории Г - производства, связанного с процессом обработки негорючих веществ и материалов в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, который сопровождается выделением лучистой теплоты, искр и пламени.

Причиной возгорания в 1-ом этаже корпуса 16А, ТПУ могут быть следующие факторы:

- возгорание устройств искусственного освещения. возникновение короткого замыкания в электропроводке вследствие неисправности самой проводки или электро-соединений и электрораспределительных щитов;
- возгорание устройств вычислительной аппаратуры вследствие нарушения изоляции или неисправности самой аппаратуры;
- возгорание мебели или пола по причине нарушения правил пожарной безопасности, а также неправильного использования дополнительных бытовых электроприборов и электроустановок.

Пожарная профилактика основывается на исключении условий, необходимых для горения, и использования принципов обеспечения безопасности. При обеспечении пожарной безопасности решаются следующие задачи:

возгорание;

- локализация возникших пожаров;
- защита людей и материальных ценностей;
- предотвращение пожаров;

- тушение пожара.

Пожаром называют неконтролируемое горение во времени и пространстве, наносящее материальный ущерб и создающее угрозу жизни и здоровью людей.

Предотвращение пожара достигается исключением образования горючей среды и источников зажигания, а также поддержанием параметров среды в пределах, исключающих горение.

Для профилактики возникновения пожаров необходимо проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия: Организационные мероприятия:

- противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;
- обучение персонала правилам техники безопасности;
- издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия:

- соблюдение противопожарных мероприятий при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения. В кабинете имеется порошковый огнетушитель типа ОП–5 и находится пожарный щит, установлен рубильник, обесточивающий всю аудиторию, на двери аудитории приведен план эвакуации в случае пожара;
- соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
- содержание в исправности изоляции токоведущих проводников.
- профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.
- обеспечение свободного подхода к оборудованию. В рассматриваемом

Тех. бюро места размещены так, что расстояние между рабочими местами с видеотерминалами составляет более 4,07 м, расстояния между боковыми поверхностями порядка 1 м, что соответствует нормам, а поэтому дополнительных мер защиты не требуется;

Технические мероприятия:

Так же необходимо предусмотреть наличие эвакуационных выходов для персонала. Число эвакуационных выходов из здания с каждого этажа должно быть не менее двух. Ширину эвакуационного выхода (двери) устанавливают в зависимости от общего количества людей, эвакуирующихся через этот выход, но не менее 0.8 м. Высота прохода на эвакуационных путях должна быть не менее 2 м. План эвакуации приведен на рисунке 5.4.1.



Рисунок 5.4.1 - План эвакуации

## Заключение по разделу социальной ответственности

В данном разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены различные виды вредного воздействия на человека и окружающую среду, К таким вредным воздействиям на организм человека относятся: вибрации, шум, недостаток освещённости, эмоциональные нагрузки. В разделе приведены способы уменьшения воздействия на организм человека вредных факторов, а так же средства индивидуальной защиты для уменьшения воздействия этих

факторов.

Благодаря анализу безопасности, он анализирует различные вопросы безопасности во время диплома и обеспечивает успех исследования диплома. Практическая значимость заключается в повышении осведомленности о безопасности и понимании знаний о безопасности, чтобы их можно было использовать в случае внезапных и опасных ситуаций в будущем.

## Заключение

В работе предложен вариант модернизации модуля перемещения и узла подачи 3D-принтера на основе кинематики «Ultimaker Original». Данная модернизация позволила исключить возникновение некоторых распространенных проблем при печати, а именно:

- исключены ситуации, при которых пластик в отверстии радиатора перегревается из-за плохого отвода тепла и чрезмерно высокой температуры нагревательного элемента;
- повышено качество поверхности напечатанных деталей;
- увеличена долговечность блока подачи.

Технологические возможности модернизированного 3D-принтера позволяют изготавливать детали с габаритными размерами до 180x180x200 мм и точностью размеров, соответствующей IT12...14. Таким образом, данный 3D-принтер может успешно использоваться для производства заготовок и некоторых деталей не имеющих высоких требований к точности размеров.



## **Список использованных источников и литературы**

1. Слюсар, В. Фаббер-технологии. Новое средство трехмерного моделирования / В. Слюсар // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2003. – № 5(47). – С. 54-61.
2. Иванов, К.М. Проектирование и изготовление заготовок деталей общего и специального машиностроения : Учебное пособие / К. М. Иванов, П. П. Серебrenицкий. – Старый Оскол : ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2019. – 320 с. – ISBN 9785941786367.
3. Скворцов В.Ф. Основы технологии машиностроения: учебное пособие / В.Ф. Скворцов; Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. – 352 с.
4. Деденко Л.Г. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента / Л.Г. Деденко, В.В. Керженцев – М., Издательство Московского университета, 1977. 112с.
5. Арутюнова Д.В. Стратегический менеджмент Учебное пособие / Д.В. Арутюнова – Таганрог, Издательство ТТИ ЮФУ, 2010. - 122 с.
6. Криницына З.В. финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / З.В. Криницын, И.Г. Видяев,; Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
7. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность) : учебник для академического бакалавриата / С.В. Белов. - 5-е изд., перераб. и доп.. – Москва: Юрайт ИД Юрайт, 2015. – 703 с.
8. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
9. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
10. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021)
11. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.

Классификация.

12. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
13. ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.°
14. V. Ivanov, Yu. Kotov, O. Samatovye et al. Synthesis and Dynamic Compaction of Ceramic Nanopowders by Techniques Based on Electric Pulsed Power. – Nanostructured Materials, 1995, v. 6, № 4–6, p.287–290.

## Приложение А

### **Modernization of the design of a small-sized 3D printer**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM91	Хань Цзэли		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШНПТ.	Бознак А. О.	к.т.н		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Айкина Т. Ю.	к.ф.н		

## **1. Abstract**

The final qualifying work consists of 39 chapters, set out on 125 pages of printed text, and contains 66 figures. When writing, 14 sources were used.

The object of research is: a 3D printer.

The aim of the work is to modernize the design of a small-sized 3D printer.

In the course of the research, the development of design documentation for the modernized movement module and the feed unit of the 3D printer was carried out; installation of a 3D printer, analysis of statistical errors in processing by a 3D printer, and correction of a 3D printer.

As a result of the study, it was calculated that, after the correction, the processing accuracy of the three-dimensional printer increased by 1.2-3 times. And the results of printing the experimental parts showed that the surface quality of the part improved. And this makes it possible to increase the strength of the part.

Key words: additive manufacturing, 3D printing, 3D printer, modernization distribution curve accuracy analysis.

## **2. Introduction**

3D printing is also known as additive manufacturing. Based on digital model files, the technology of using bonded materials such as metal powder or plastic to create objects using layer-by-layer printing is especially suitable for the rapid fabrication of complex structures, customization and the production of high value-added products. A 3D printer based on 3D printing technology is a technological advancement of digital additive technology that, after decades of development, has gradually moved to the civilian market. It is currently used in a variety of fields including medicine, construction, food processing, and industrial manufacturing. It has broad development prospects.

The aim of the work is to modernize the design of a small-sized 3D printer.

In accordance with the purpose of the work, the following tasks were formulated:

- Study of 3D printing FDM technology;
- Modeling a 3D printer using KOMPASS 3D;
- Development of design documentation for the modernized movement module and 3D printer feed unit;
- The normality check with the use of descriptive statistics;
- Correction of 3D printer printing accuracy;
- Checking the correction result.

### **3. Fused deposition modeling**

Fused deposition modeling is the most widely used 3D printing technology in the world. With its help, both cheap home printers and industrial high-precision 3D printing systems are grown.

FDM technology is the most commonly used method of 3D printing. FDM stands for Fused Deposition Modeling and was first developed in the 1980s. It uses thermoplastic filaments that are heated until they melt. Then the melted filaments are extruded layer by layer to create a three-dimensional object. In fact, there are two different aspects to this process. One is the modeling material used to make the object itself, and the other is the support material used as the support material of the object when printing the object.

The process of FDM 3D printing is quite advanced, but the actual method of creating 3D objects has been simplified. Usually, you will start with a computer-aided design file or a .CAD file. Then convert this file to .STL file or .OBJ file for processing by FDM 3D printer. Once the object is ready to be printed, the FDM 3D printer is activated by loading the filament into the nozzle. The filament is then heated until it melts. The computer communicates with the nozzle or extruder and the printer base and tells the printer exactly where to move in order to accurately create the object. Then, the molten thermoplastic filament will be extruded from the nozzle as it moves on the base to form the first layer of the object. As each layer cools and hardens, another layer is added on top of it, and it is immediately bound to the next layer. As each layer is constructed, the base will be lowered to make room for more layers.

After the object is printed, the thermoplastic support can be broken off by hand and sanded (if necessary).

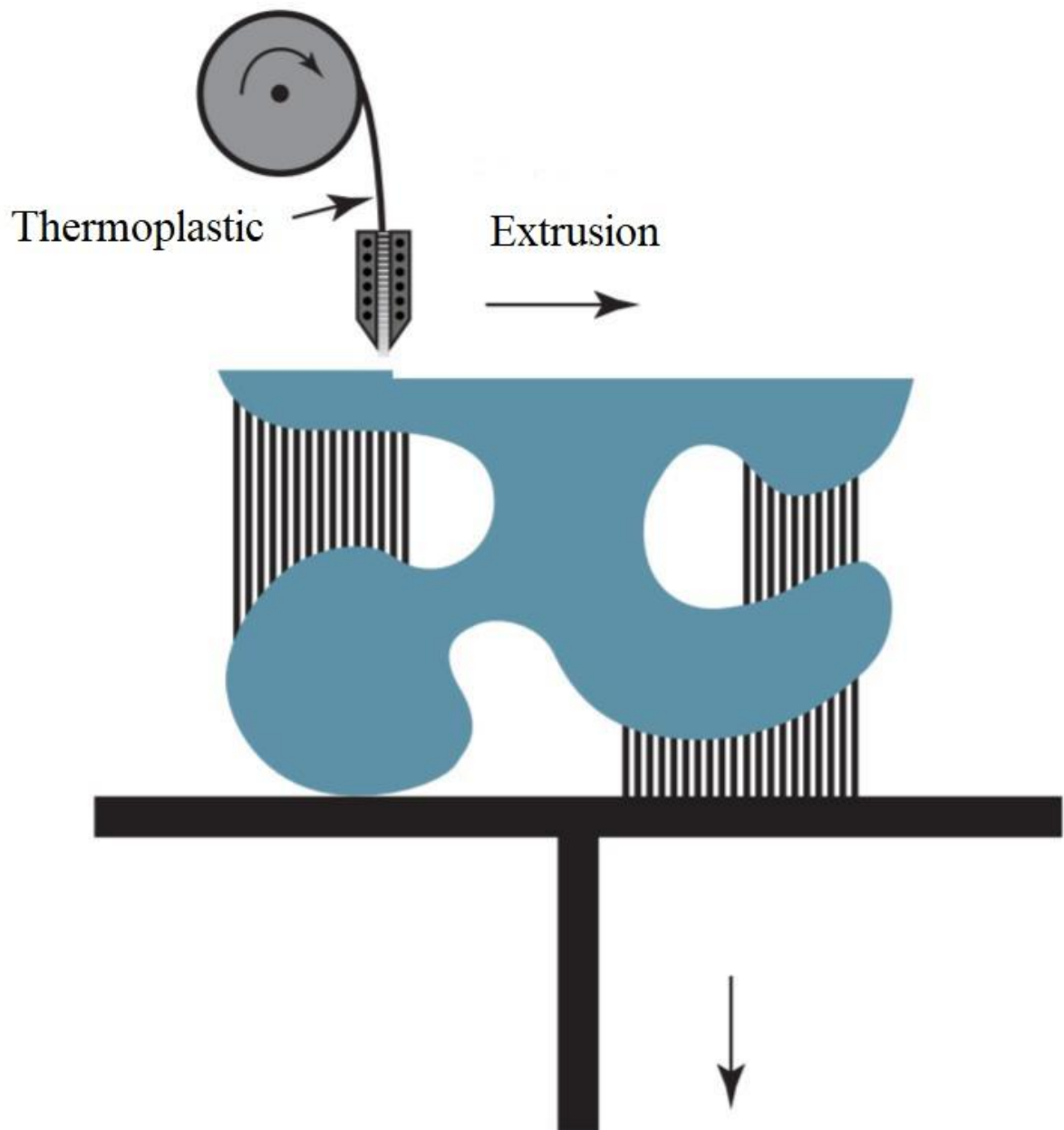


Figure 3.1 - Diagram of FDM technology

**Materials:**

- Polylactic acid (PLA) is biodegradable, biocompatible, thermoplastic, aliphatic polyester, the monomer of which is lactic acid;
- ABS plastic (ABS) acrylonitrile butadiene styrene;
- Nylon, polycarbonate, polyethylene and many other thermoplastics.
- **Advantages of this method:**
- Layer-by-layer construction allows you to obtain parts with a rather complex geometry, which is not always possible to obtain with traditional

production methods. And because FDM technology uses the same materials – thermoplastics – as traditional methods, it can grow parts that are as strong as parts made with traditional methods.

- FDM systems are a zero-waste operation that does not require filtration of toxic gaseous products.
- **Disadvantage of this method:**
- Models that are printed by this method have a pronounced relief surface, processing which you can lose the accuracy of the product, because plastic melts and spreads in all directions, so it is almost impossible to control this process.
- This section discussed the different types of 3D printing technology, their advantages and disadvantages, as well as consumables for each type of printer.
- The next section deals with the Ultimaker Original FDM technology 3D printer.



#### **4. Modernization of the extrusion head, variable modules and feeding unit**

The accuracy of this 3D printer is low, after analyzing the main details, we decided to upgrade the extrusion head, variable module and feed unit.

We know that if the extruder does not dissipate heat well, then the thermoplastic will melt in the inner hole of the heatsink, resulting in poor extrusion and even blocking the outlet, so that the material is hot melted only in the nozzle. We have designed a heatsink with improved heat dissipation to further improve heat dissipation.

##### **4.1 Modeling a 3D printer using KOMPASS 3D-18**

The following steps are required to simulate a printer:

1. Disassemble this broken printer;
2. Measure all dimensions of the product;
3. Draw 3D models of all products using CAD;
4. Collect 3D models included.

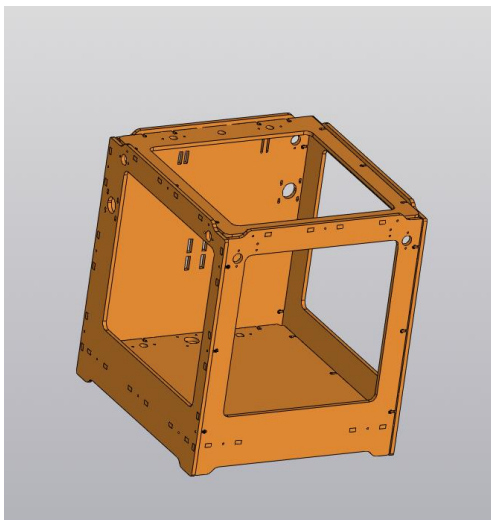


Figure 4.1.1 - Assembling the Case

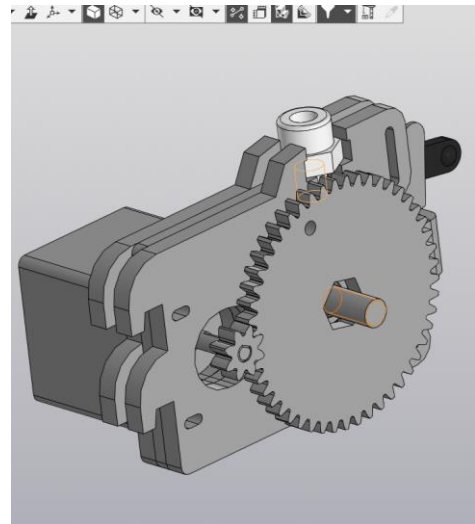


Figure 4.1.2 - Assembling the feed unit

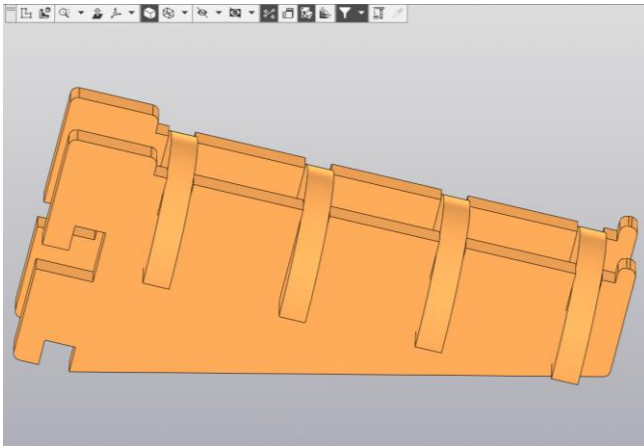


Figure 4.1.3 - Assembling the coil support

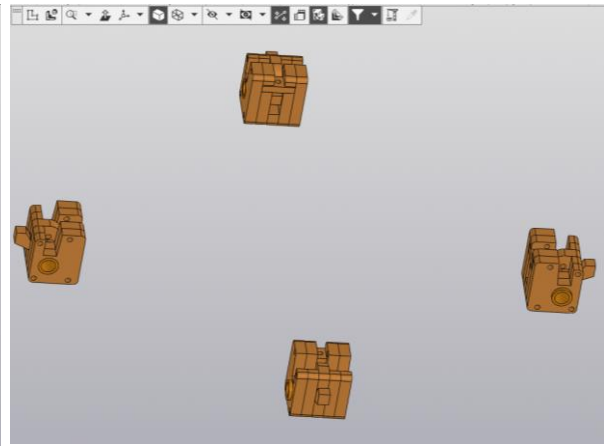


Figure 4.1.4 - Crawler assembly

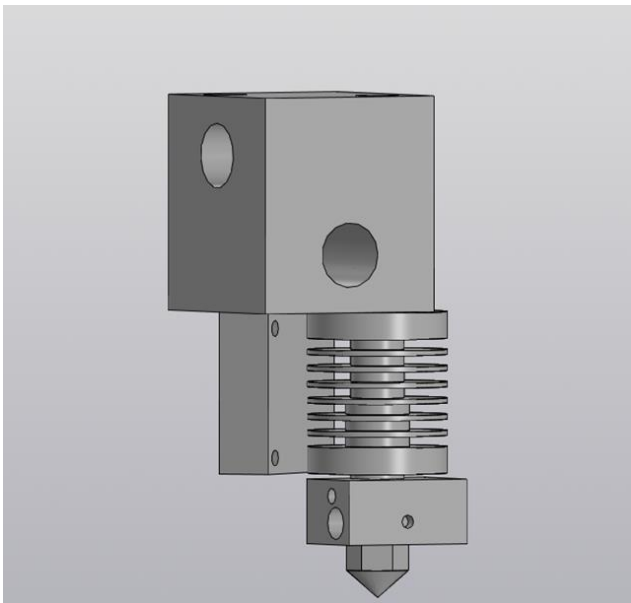


Figure 4.1.5 - Assembling the extruder head

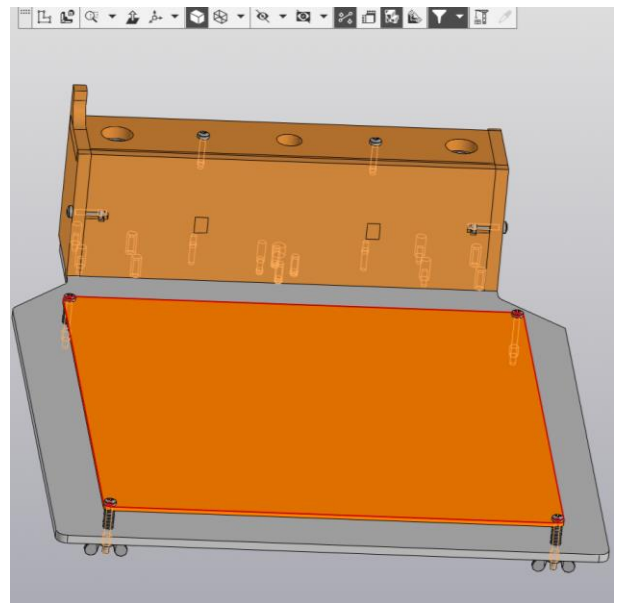


Figure 4.1.6 - Assembling the slab

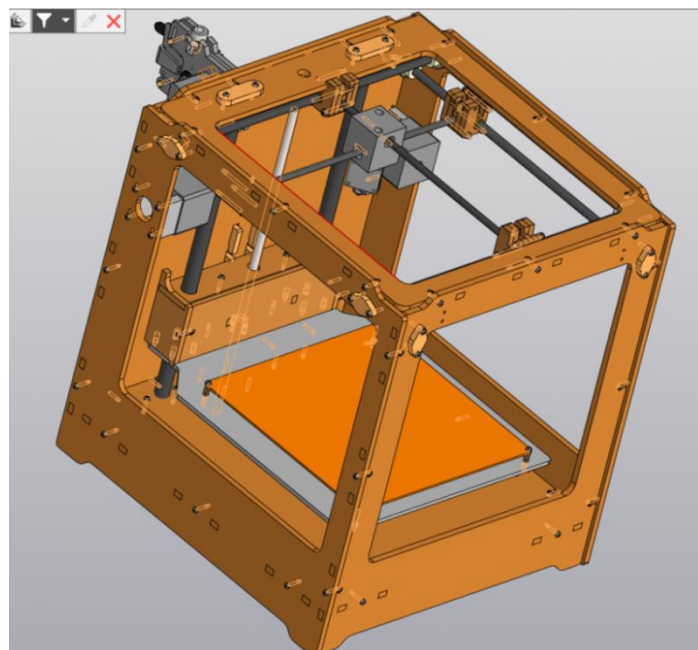





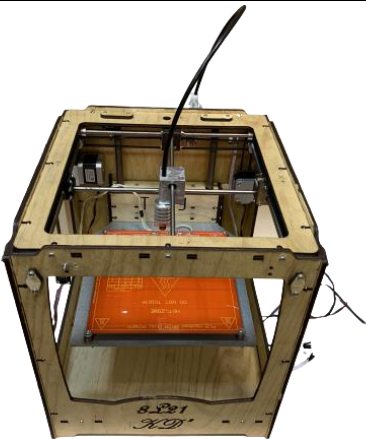


Figure 4.1.7 - Assembling the printer without electronics

## 4.2 Development of design documentation for the modernized movement module and 3D printer feed unit

The manufactured parts are shown in the table.

 <p>A close-up photograph of a cylindrical metal radiator. It features a central threaded shaft with four horizontal fins or plates attached to it. The metal has a brushed, silver-colored finish.</p> <p>Figure 4.2.1 - Manufactured radiator</p>	 <p>A photograph of a rectangular metal block, likely aluminum, with a matte silver finish. It has a circular hole on its front face and some faint, dark markings or residue on its surface.</p> <p>Figure 4.2.2 - Manufactured body</p>
 <p>A photograph of a circular metal gear with a serrated outer edge. It has a central hub with a hexagonal hole. The gear is made of a light-colored metal, possibly aluminum.</p> <p>Figure 4.2.3 - Gear</p>	 <p>A photograph showing the assembly of an extruder head. A metal body is being mounted onto a frame. A red cable and a yellow cable are visible, connected to the assembly. A black component, possibly a motor or sensor, is also visible.</p> <p>Figure 4.2.4 - Assembling the extruder head</p>
 <p>A photograph of a 3D printer feed unit. It features a large gear on the front, a smaller gear inside, and a black cable connected to the top. The unit is made of metal and has a complex, industrial design.</p> <p>Figure 4.2.5 - Assembling the 3D printer feed unit</p>	 <p>A photograph of a mechanical part unit, possibly a motor or actuator, mounted on a metal frame. It has a black cable connected to the top and a red component on the side. The unit is labeled '8.281' and '3D'.</p> <p>Figure 4.2.6 - Assembling the mechanical part unit</p>



### 4.3 Analysis of statistical errors of processing by a 3D printer

After assembling the 3D printer, it is necessary to conduct a trial operation in order to find out what technological capabilities this 3D printer has; analyze the statistical errors in the processing of workpieces; and correct the accuracy of the 3D printer.



Figure 4.3.1 - Print result before correction

Test results can be a sample of values from a discrete or continuous random variable. In our case, this parameter is the size, that is, a continuous random variable.

Usually, during testing, a sample of values of a continuous random variable is obtained with some distribution of the probability of obtaining values (intervals of values). Normal distribution is common. More precisely, real distributions are often close enough to normal. Therefore, the method of analyzing accuracy using distribution curves is applied.

Descriptive statistics obtained using Microsoft Excel is presented in Table 4.3.1

Table 4.3.1 - Descriptive statistics for size 40

Name	Numerical value
Average	38.9475
Standard deviation	0.099
Excess	-0.876
Asymmetry	0.655
Extremum	0.3
Minimum	38.82
Maximum	39.12

To check the normality, we will use descriptive statistics, compare the critical and actual values of kurtosis and asymmetry at significance levels  $\alpha = 0.05$  (5%); graphical method: we plot the graphs of the histogram and the theoretical normal distribution curve of sizes, and get an intuitive judgment through the similarity of the two graphs.

Table 4.3.2 - Critical values of the kurtosis coefficient ( $E_{\text{limit}}$ )

Sample size ,n	Significance level , %		
	10	5	1
11	0,890	0,907	0,936
16	0,873	0,888	0,914
21	0,863	0,877	0,900
26	0,857	0,869	0,890
31	0,851	0,863	0,883
36	0,847	0,858	0,877
41	0,844	0,854	0,872
46	0,841	0, 851	0,868
51	0,839	0,848	0,865
61	0,835	0,843	0,859

Table 4.3.3 - Critical values of asymmetry ( $A_{limit}$ ) at  $\alpha = 0.05$

$m$	$A_{limit}$
5	1,05
10	0,92
15	0,84
20	0,79
25	0,711
30	0,662
35	0,621
40	0,587
45	0,558
50	0,534
60	0,492
70	0,459
80	0,432
90	0,409
100	0,389
125	0,350
150	0,321
175	0,298
200	0,280
250	0,251
300	0,230
350	0,213
400	0,200
500	0,179
750	0,146
1000	0,127

$$E_{actual} = -0.876$$

$$\text{When } \alpha = 0.05, \quad E_{limit} = 0.888,$$

Because  $E_{limit} > |E_{actual}|$ , we conclude that the distribution is normal.

We take the critical value of asymmetry from a special table for  $\alpha = 0.05$  (5%) and  $m = 15$  (close to 16)

$$A_{actual} = 0.655,$$

$$\text{When } \alpha = 0.05, \quad A_{limit} = 0.84.$$

Because  $A_{limit} > |A_{actual}|$ , we conclude that the distribution is normal.

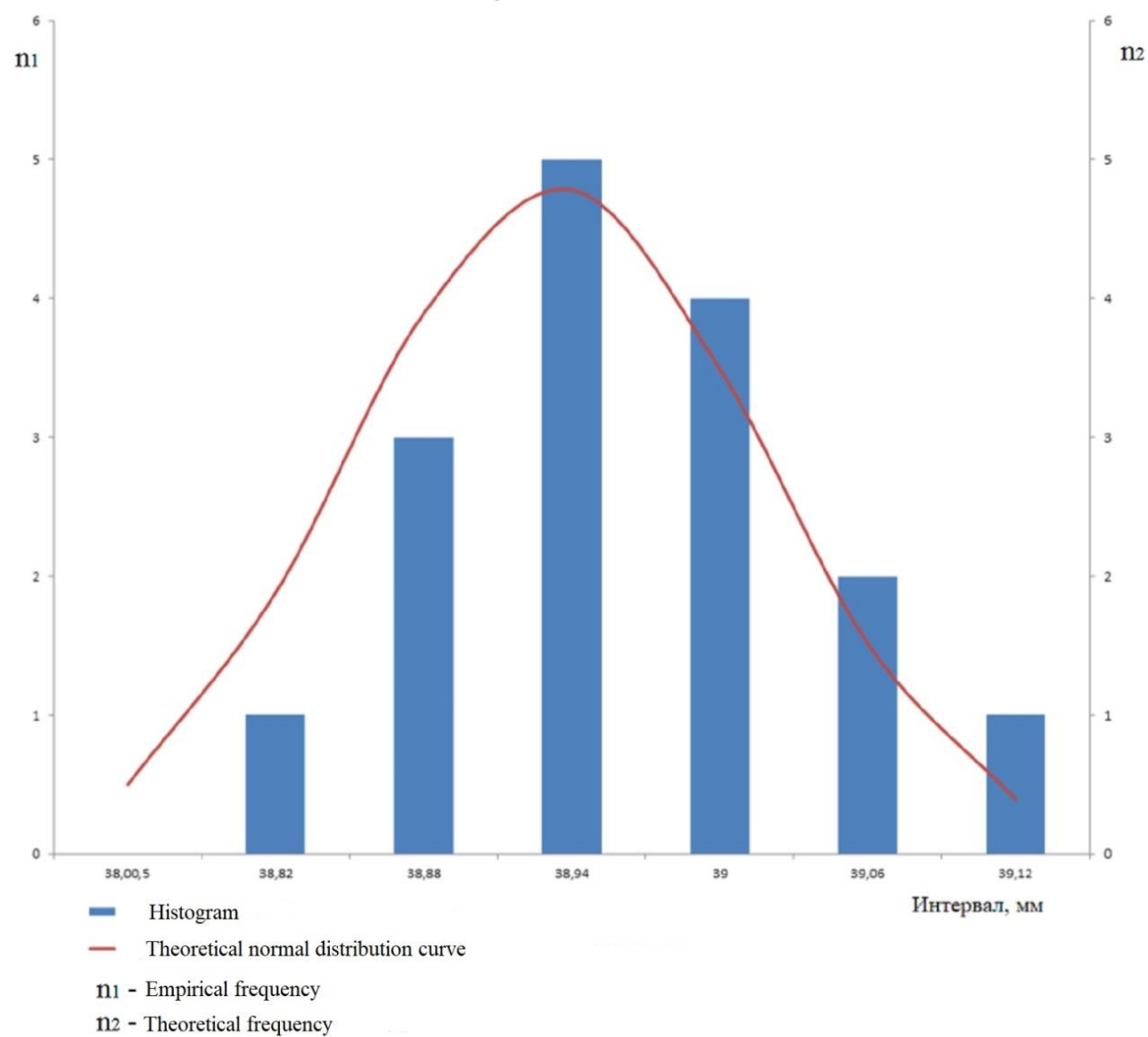







Figure 4.3.2 - Histogram and theoretical normal distribution curve.  
On the graph, we see that this distribution is close to normal

## 4.4 3D Printer Correction

We have studied the whole printer, the design of the printer has been developed. As a rule, a possible principle of inaccurate size arises in the firmware, exactly where to set the number of pulses required for the stepping motor for each movement of 1 mm along the X, Y, Z and E axes. The following table 4.4.1 shows the correction processes of a 3D printer.

Table 4.4.1 3D -printer correction processes

	Attempt				
Parameters	1	2	3	4	5
Pulse quantity X-axis	78,74	75	74	73,5	73,5
Pulse quantity Y-axis	78,74	78,4	78,3	78	77,4
Size by X axis	32,09	30,72	30,27	30,05	30,03
Size by Y axis	30,42	30,54	30,28	30,26	30,06
Temperature heaters	202°C	202°C	221°C	222°C	222°C
Surface quality					

As a result, we get a successful correction of the linear dimension accuracy and an improved surface quality at a heater temperature of 222 °C.



## **CONCLUSION**

As a result of the work done, the design of a small-sized 3D printer was modernized.

To achieve this goal, the following main tasks were solved in the work: the technology of 3D printing was studied; a 3D printer was modeled using the KOMPASS 3D-18; design documentation has been developed for the modernized movement module and 3D printer feed unit; parts were manufactured (parts to be manufactured: housing; radiator; bracket; guide sleeve, gear wheel); the processing accuracy was analyzed according to distribution curves and according to statistical description; the accuracy of printing of the 3D printer has been adjusted.

As a result, it turns out that the design of a small-sized 3D printer has been successfully modernized, the printing accuracy of the 3D printer has been successfully corrected, and an increased surface quality of the part has been obtained.